ORGANIZADORA

Mariana Natale Fiorelli Fabiche

INNOVATE:

ENGENHARIA CIVIL

Atena
Editora
Ano 2023



ORGANIZADORA

Mariana Natale Fiorelli Fabiche

INNOVATE:

ENGENHARIA CIVIL

Atena Editora

Ano 2023

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Camila Alves de Cremo
Ellen Andressa Kubisty
Luiza Alves Batista
Nataly Evilin Gayde
Imagens da capa
iStock
Edição de arte
Luiza Alves Batista

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Innovate: engenharia civil

Diagramação: Luiza Alves Batista
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Mariana Natale Fiorelli Fabiche

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

I58 Innovate: engenharia civil / Mariana Natale Fiorelli Fabiche (Organizadora). – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-1541-1
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.411232107

1. Engenharia civil. I. Fabiche, Mariana Natale Fiorelli (Organizador). II. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce,* ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

A coleção "Innovate: Engenharia civil" é uma coleção de trabalhos científicos que aborda alguns temas atuais e relevantes na área da Engenharia Civil. Composta por capítulos categorizados e interdisciplinares, a obra apresenta estudos realizados em diversas instituições de ensino e pesquisa no Brasil, abordando temas discutidos nas diversas áreas da engenharia civil, como os Materiais de Mudança de Fase do termo em inglês *Phase Change Materials* (PCMs). Aborda uma breve revisão sobre a aplicação da nanotecnologia na construção civil, bem como estudos sobre telhado verde, suas vantagens e seus benefícios dentro das edificações. Aborda ainda estudos sobre estabilidade de taludes e análise de modelos digitais sobre diferentes métodos de coleta de dados aplicados dentro da engenharia civil.

Essa proposta de coleção visa fornecer oportunidades de aprendizados aplicados tanto no campo acadêmico quanto no âmbito profissional, de modo a facilitar o entendimento do assunto e sua aplicação para tomadas de decisões. Além do que, a obra busca incentivar a divulgação de novos trabalhos e ressalta a importância dos pesquisadores em divulgar seus trabalhos por meio de plataformas confiáveis, como a Atena Editora.

Mariana Natale Fiorelli Fabiche

MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE: ESTUDO DE REVISÃO

Data de submissão: 27/06/2023 *Data de aceite: 03/07/2023*

Mariana Natale Fiorelli Fabiche
Universidade Estadual de Maringá,
Umuarama – PR
lattes.cnpq.br/8888223123528183

RESUMO: Atualmente, há um crescente interesse na utilização de materiais de mudança de fase (PCMs - Phase Change Materials) em diversos setores industriais, desde tintas automotivas, vestuário e, inclusive, revestimentos de fachadas na construção civil. Os Materiais de Mudança de Fase são capazes de absorver e dissipar grandes quantidades de energia térmica ao longo dos ciclos e essa mudança pode ocorrer durante toda sua vida útil. São classificados em três grupos, com base em sua composição química sendo: orgânica, inorgânica e as misturas eutéticas. Muitos são os tipos de PCMs, cada qual possui um intervalo de temperatura específica em função de sua aplicação e das suas características físicas e químicas. Tendo em vista a crescente aplicação desses materiais, esse trabalho apresenta uma breve revisão dos PCMs, algumas estratégias de escolha desse material, bem como os tipos que caracterizam o material estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Energia térmica, Ciclos, Intervalo de temperatura, Aplicação.

PHASE CHANGE MATERIALS: REVIEW STUDY

ABSTRACT: Currently, there is a growing interest in the use of phase change materials (PCMs - Phase Change Materials) in several industrial sectors, from automotive paints, clothing and even facade coatings in civil construction. Phase Change Materials are capable of absorbing and dissipating large amounts of thermal energy over cycles and this change can occur throughout their lifetime. They are classified into three groups, based on their chemical composition: organic, inorganic and eutectic mixtures. There are many types of PCMs, each of which has a specific temperature range depending on its application and its physical and chemical characteristics. In view of the increasing application of these materials, this work presents a brief review of PCMs, some strategies for choosing this material, as well as the types that characterize the studied material.

KEYWORDS: Thermal energy, Cycles, Temperature range, Application.

1 I INTRODUÇÃO

Com o crescimento econômico dos países, houve um aumento do consumo de energia elétrica proveniente principalmente de fontes não renováveis, o que, por vez, afeta diretamente a população e o meio ambiente (CUNHA; AGUIAR; FERREIRA, 2017).

De acordo com Almeida, Brandalise e Mizgier (2022), na arquitetura contemporânea, o uso de materiais leves com baixa inércia térmica em edificações residenciais está cada vez mais difundido. Uma solução para aumentar a inércia térmica dessas edificações é o uso de materiais de mudança de fase (PCM).

Os materiais de mudança de fase, do termo em inglês *Phase Change Materials* (PCMs), são desenvolvidos com o objetivo de atuar como "armazenadores" de energia na forma de calor (BRITO et al., 2017). O interesse em PCMs na área da construção civil está na capacidade de aproveitar o armazenamento de energia através da transição de fase de calor latente em vez da transição de calor sensível (FLEISCHER, 2015).

Esses materiais têm sido aplicados em revestimento de fachadas, visando tornar os edifícios mais eficientes em nível energético, de maneira que evitem a necessidade de sistemas de geração/absorção de calor, como, por exemplo, os sistemas de ar-condicionado, que possuem grande consumo energético (MARTINS, 2017).

A incorporação de PCMs em argamassas para revestimento interno/externo aparece como uma possível solução para minimizar o consumo energético total nas edificações (CUNHA et al., 2013). Essa incorporação permite, ainda, obter uma construção mais eficiente energeticamente e sustentável. Porém, para que essa real aplicação seja viável, é necessário que o setor da construção civil aceite essas novas soluções e aplique continuamente esses produtos.

Dessa maneira, estudos mais aprofundados sobre a real aplicação dos PCMs na construção civil devem ser realizados, de maneira que ofereça maior conforto e economia aos usuários, através do aumento da inércia térmica dos materiais, com o objetivo da redução de equipamentos de aquecimento e refrigeração. Portanto, se esses sistemas projetados e dimensionados adequadamente, em especial os revestimentos de fachada, forem aplicados de forma correta, com PCM, podem gerar economia de escala aos usuários e maior valor às edificações produzidas com esses materiais, por esses serem mais sustentáveis.

2 I REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PCMs

Os PCMs possuem a capacidade de mudar o seu estado em função da temperatura ambiente. Quando a temperatura ambiente que rodeia o PCM aumenta e passa o ponto de fusão do material, ele vai do estado sólido para o líquido, absorvendo e armazenando

a energia calorífica ambiente. Quando a temperatura ambiente diminui e passa o ponto de solidificação do PCM, então o material varia do estado líquido para o sólido (reação exotérmica), liberando a energia que foi armazenada (CUNHA et al., 2015).

Materiais de mudança de fase são aqueles com capacidade de armazenar elevada quantidade de energia calorífica devido ao seu alto calor de fusão e liberar essa energia a uma temperatura constante durante a sua mudança de fase (GRADE, 2013). Silva (2009) explica que o melhor exemplo do conceito de PCM é a água, pois ela pode se apresentar em três fases: sólida, líquida e gasosa. O processo de transição do estado sólido para o estado líquido denomina-se fusão e o inverso solidificação, ocorrendo ambos à temperatura de 0 ºC. Halliday e Resnick (2012) dizem que fundir um sólido significa fazê-lo passar do estado sólido para o estado líquido, requerendo energia, porque os átomos ou as moléculas do sólido devem ser liberados de sua estrutura rígida.

A transição do estado líquido para o estado de vapor denomina-se vaporização, enquanto o processo inverso é a condensação, ocorrendo ambos à temperatura de 100 ºC. A cada um desses processos de transição está associada uma quantidade de energia, geralmente denominada entalpia ou simplesmente calor latente, fusão, condensação, entre outras (SILVA, 2009).

De acordo com Brito et al. (2017), as mudanças de fase dos PCMs podem ocorrer do estado sólido para o líquido, e vice-versa, bem como do estado líquido para o gasoso, e vice-versa. Para armazenar calor, são preferidos materiais com altos valores de calor latente, uma vez que são passíveis de mudança de fase em certas temperaturas (GÜREL, 2019).

Fleischer (2015) explica que o aquecimento de um material através do processo de fusão ocorre geralmente em três degraus:

- inicialmente, o material é elevado uniformemente em temperatura, a partir de sua temperatura inicial, ao ponto de fusão através de aquecimento sensível. Uma vez atingido o ponto de fusão, e à medida que o processo de aquecimento continua, não há elevação de temperatura com a adição de calor, mas ocorre a mudança de fase atrás do ciclo de aquecimento latente; e

- durante esse tempo, o material transita de sólido para líquido e a frente de fusão, que marca o ponto de transição do sólido para o líquido, progride através do material; e

- à medida que a frente de fusão cruza o material, e o material se torna a fase totalmente fundida, a adição de calor aumenta a temperatura desse material líquido através de aquecimento.

Essa representação dada por Fleischer (2015) pode ser analisada na Figura 1.

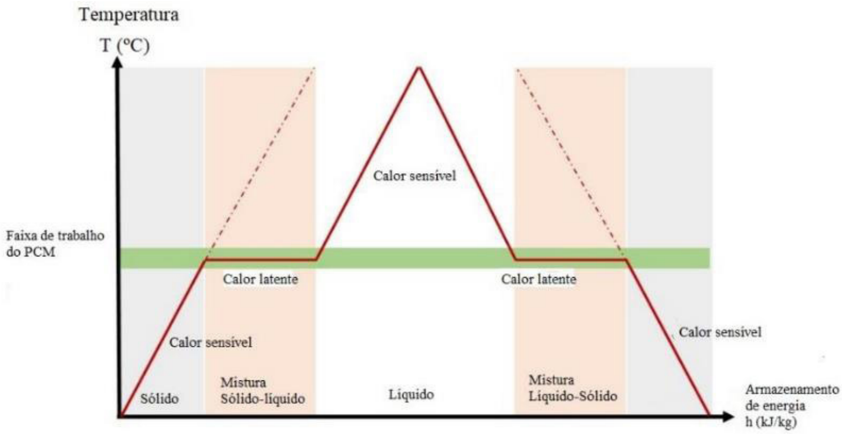


Figura 1 – Transição de mudança de fase de PCM.

Fonte: Adaptada de Faraj et al. (2020).

2.2 Estratégias de aplicação dos PCMs

Existem estratégias para a aplicação de materiais de mudança de fase no armazenamento de calor latente, conforme pode ser analisado na Figura 2.

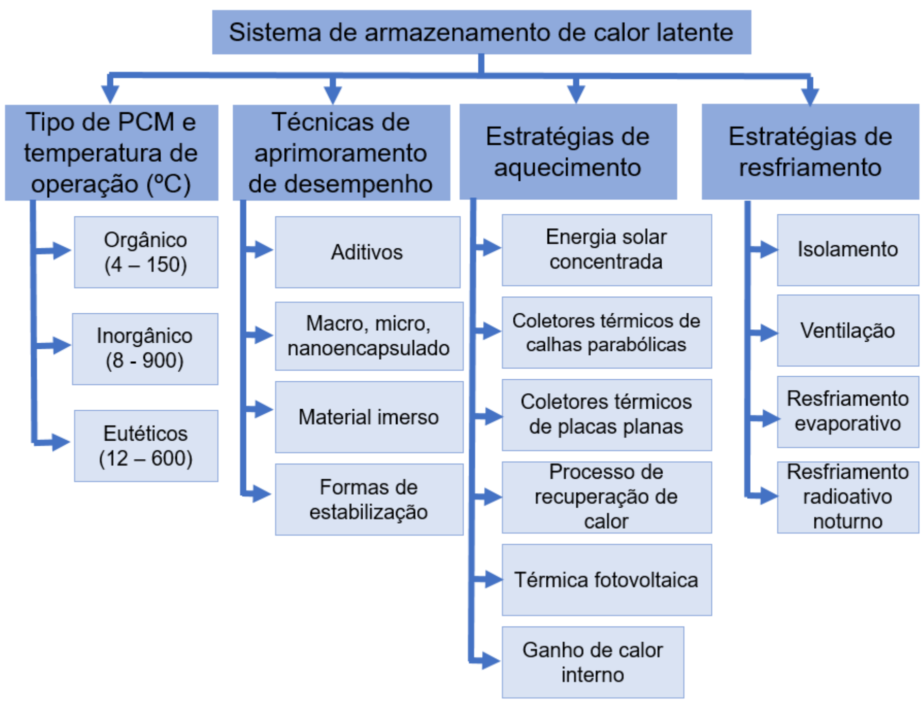


Figura 2 – Estratégias para sistemas de armazenamento de calor latente

Fonte: Adaptada de Rao, Parameshwaran e Ram (2018).

De acordo com Ge et al. (2013), o PCM ideal usado para baixo consumo de energia deve atender aos seguintes requisitos:

- O ponto de fusão dos PCMs deve corresponder à situação de aplicação, ou seja, o ponto de fusão deve estar no local de trabalho na temperatura do dispositivo;
- O material deve ter uma mudança de fase suficiente para absorver o máximo possível de calor transformado em energia térmica;
- O material deve possuir expansão relativamente pequena para garantir que o sistema funcione com segurança;
- O material deve ter reversibilidade de transição de fases;
- O material não deve ser tóxico, nem corrosivo nem produzir nenhuma reação química ao recipiente e ao dispositivo; e
- A matéria-prima deve ser barata e facilmente disponível.

2.3 Propriedades dos PCMs

Algumas propriedades são importantes para a utilização dos PCMs, conforme pode ser analisado na Tabela 1.

Propriedades térmicas e físicas	Temperatura de mudança de fase adequada para edificações Alto calor latente de fusão por unidade de volume Alta condutividade térmica Calor específico alto Pequena alteração de volume na transição de fase PCM deve fundir completamente durante a mudança de fase Termicamente confiável (estabilidade de ciclagem)
Propriedades cinéticas	Alta taxa de nucleação para evitar super-resfriamento do PCM na fase líquida Alta taxa de crescimento de cristais para que a recuperação do calor do sistema de armazenamento seja ideal
Propriedades químicas	Quimicamente compatível com materiais de construção/encapsulados Sem degradação após um grande número de ciclos térmicos, garantindo vida útil longa Não tóxico, não inflamável e não explosivo, garantindo segurança Resistente à corrosão/materiais encapsulados
Propriedades econômicas	Custo-benefício Comercialmente disponível
Propriedades ambientais	Baixo impacto ambiental e não poluente durante a vida útil Potencial de reciclagem

Tabela 1 – Propriedades desejáveis de um PCM

Fonte: Memon (2015), Diaz (2016) e Faraj et al. (2020).

Cunha et al. (2013) afirmam que os materiais de mudança de fase possuem a capacidade de alterar as suas propriedades de acordo com as características do ambiente em que são aplicados.

Existem atualmente diversos PCMs no mercado, porém não são todos que podem ser utilizados como armazenadores térmicos, pois eles devem possuir um ponto de fusão/ solidificação na gama de temperatura da sua aplicação prática, assim como um elevado calor latente de fusão e uma boa condutividade térmica (CUNHA; AGUIAR; FERREIRA, 2017).

A Figura 3 apresenta o comportamento do material, ou seja, como ocorre o ciclo dos materiais de mudança de fase.

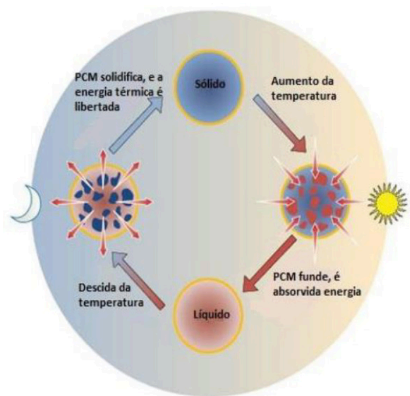


Figura 3 – Ciclo de mudança de um PCM.

Fonte: Tristão (2014).

De acordo com a Figura 3, é possível perceber a mudança do material, ou seja, enquanto o material está em seu estado sólido, ele permanece inalterado. Conforme há o aumento da temperatura, o material se funde e a energia é absorvida, mudando do seu estado sólido para o estado líquido. E, assim que o calor é retirado do material, se ele começa a perder calor e há um decréscimo da temperatura, o material se solidifica e volta ao seu estado original, o sólido.

Quando a temperatura ambiente aumenta, as ligações químicas do PCM se rompem e o material muda do estado sólido para o líquido, ocorrendo nesse caso uma reação endotérmica do material. Quando a temperatura ambiente cai novamente, o PCM líquido volta ao seu estado sólido, nesse caso a reação é exotérmica e o PCM devolve o calor para o ar interno (GE et al., 2013).

Um dos critérios mais importantes para a escolha do PCM é a faixa da temperatura da mudança de fase, mas também dever ser levado em conta que o material tem que ser simples e barato, ter boas propriedades de cristalização, ser térmica e quimicamente estável, não ser tóxico nem inflamável (BAETENS; JELLE; GUSTAVSEN, 2010).

Cunha et al. (2015) afirmam que o aumento do conforto térmico é conseguido através da capacidade de armazenamento do PCM, permitindo armazenar e liberar energia, e mantendo as temperaturas interiores sensivelmente constantes ou pelo menos com variações inferiores se comparado com as temperaturas exteriores.

Para Yeon (2020), é importante observar que, se a temperatura de transição de fase está mais próxima da temperatura ambiente, a sua eficácia se torna mais significativa. Assim, ao se determinar a temperatura de transição de fase do PCM para as condições reais, as condições climáticas regionais precisam necessariamente ser consideradas.

A Figura 4 apresenta áreas de PCMs em função da sua faixa de temperatura e a relação das faixas de entalpia de cada material.

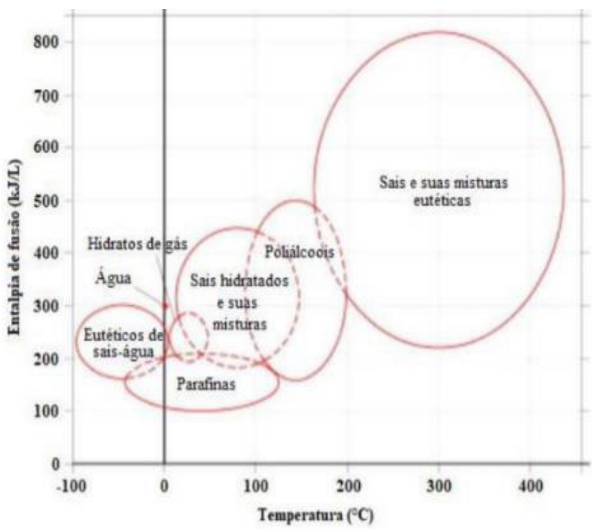


Figura 4 – Tipos de PCM baseados em suas faixas de temperatura de fusão e entalpia.

Fonte: Dieckmann (2008) apud Baetens, Jelle e Gustavsen (2010).

Para Kheradmand et al. (2018), um dos pontos negativos dos PCMs é que o material em si possui baixa condutividade térmica e alto custo de produção, isso se deve principalmente ao fato de que, se o material em sua fase líquida vazar do seu ponto de aplicação (principalmente se o produto não for encapsulado), pode sofrer modificações, o que por consequência aumentaria o seu custo.

Os sistemas de armazenamento com PCM proporcionam a possibilidade de baixar o consumo energético das edificações e ainda garantir um ambiente termicamente satisfatório (MARTINS, 2017).

2.4 Tipos dos PCMs

Os PCMs são classificados como materiais a) orgânicos, como as parafinas e os não parafínicos; b) inorgânicos, que compreendem os sais e os metais; e c) eutéticos,

que abarcam dois ou mais PCMs (RAO; PARAMESHWARAN; RAM, 2018). A Figura 5 apresenta os tipos de PCM.

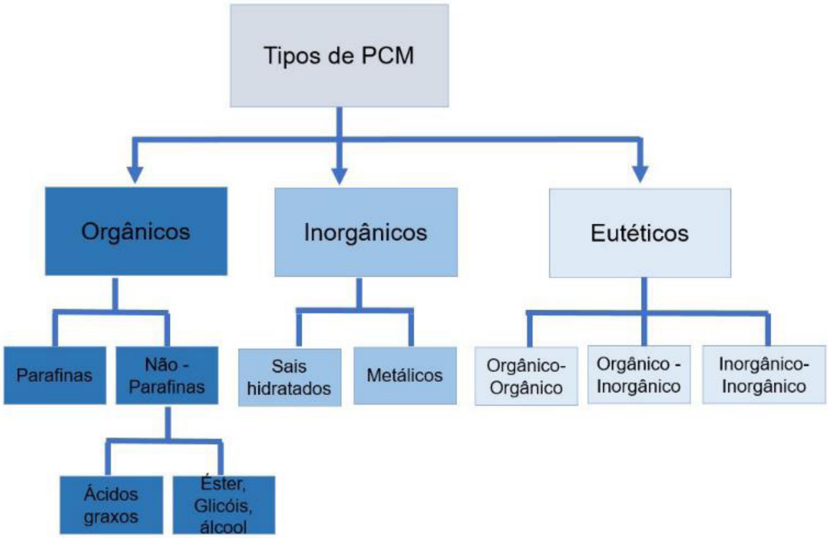


Figura 5 – Tipos de PCM.

Fonte: Kalnaes e Jelle (2015).

2.4.1 Materiais orgânicos

Os materiais orgânicos são indiscutivelmente o tipo mais popular de PCM (FLEISCHER, 2015). Baetens, Jelle e Gustavsen (2010) afirmam que os materiais de mudança de fase orgânicos são, em geral, quimicamente estáveis, não sofrem super-resfriamento, não são corrosivos nem tóxicos e têm alto calor latente de fusão. Os PCMs orgânicos podem incluir os da família de parafinas (C_nH_{2n+2}) e os das famílias de ácidos graxos ($CH_3(CH_2)_{2n}COOH$) (FLEISCHER, 2015).

a) Parafinas

A cera da parafina é um hidrocarboneto que possui a estrutura química (C_nH_{2n+2}), comercialmente depende do número de átomos de carbono para garantir um ponto de fusão de 20 °C a 70 °C e, como consequência, quanto maior a quantidade de átomos presentes na cadeia, maior será o ponto de fusão do material (LING; POON, 2013). De acordo com Baetens, Jelle e Gustavsen (2010), as ceras de parafina comerciais CH_3 $(CH_2)_n$ CH_3 são baratas e têm densidade de armazenamento térmico razoável de 120 kJ/kg até 210 kJ/kg. Já Fleischer (2015) relata que as parafinas comuns exibem calores latentes na faixa de 200-300 kJ/kg e ácidos graxos na faixa de 100-200 kJ/kg. Segundo Rao, Parameshwaran e Ram (2018), as ceras de parafinas orgânicas possuem diversas vantagens, bem como algumas limitações, como pode ser observado na Figura 6.



Figura 6 – Vantagens e limitações do material orgânico parafina.

Fonte: Adaptada de Rao, Parameshwaran e Ram (2018).

A combinação dos aspectos térmicos e físicos da parafina leva a características termofísicas que incluem, em ordem de importância, calor latente, condutividade térmica e temperatura de mudança de fase (GULFAM; ZHANG; MENG, 2019).

As parafinas são resistentes à degradação, possuem alto calor latente, estão livres de sub-resfriamento, além de serem baratas, confiáveis e quimicamente estáveis (RAO; PARAMESHWARAN; RAM, 2018).

No ensaio de calorimetria exploratória diferencial (DSC), é possível determinar tanto o calor específico do material (rastreando as mudanças em capacidade quando o material é puramente sólido ou puramente líquido) e também o calor do material à medida que ele transita de sólido para líquido na faixa de fusão. A Figura 7 apresenta a curva de aquecimento resultante do uso da técnica de calorimetria exploratória diferencial de um PCM orgânico tipo parafínico (FLEISCHER, 2015).

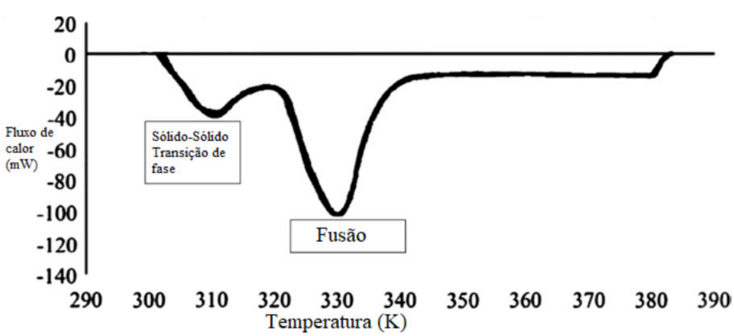


Figura 7 – Exemplo de uma curva DSC para as parafinas.

Fonte: Fleischer (2015).

Conforme apresentado na Figura 7, a faixa de fusão é conhecida como a "zona mole", durante a qual no PCM há uma mudança de fase. A zona mole inicia quando a curva de aquecimento começa a mergulhar em torno de 319 K e atinge o pico de fusão no ponto de 331 K (FLEISCHER, 2015).

Em resumo, as ceras de parafina exclusivamente apresentam propriedades físicas, térmicas, químicas e mecânicas. E, com base nisso, elas podem ser reconhecidas como materiais orgânicos multifuncionais (GULFAM; ZHANG; MENG, 2019). A Figura 8 apresenta as funções das ceras de parafina.

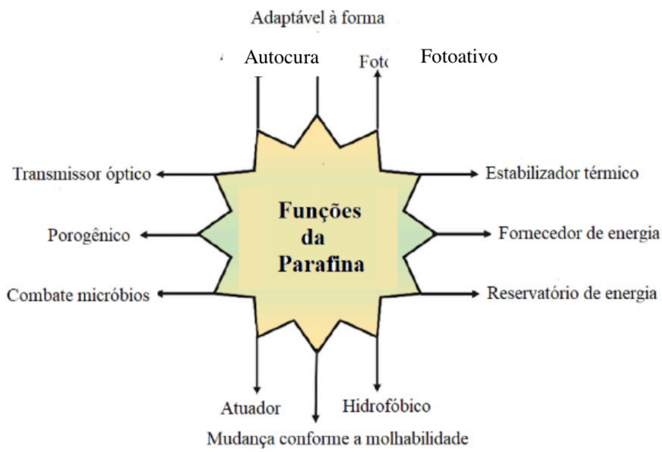


Figura 8 – Principais funções das ceras de parafina.

Fonte: Adaptada de Gulfam, Zhang e Meng (2019).

Por outro lado, Ling e Poon (2013) afirmam que as parafinas possuem algumas propriedades inadequadas, como ser inflamável e ter baixa condutividade térmica em seu estado sólido.

b) Não parafínico

No que se refere aos materiais orgânicos não parafínicos, listam-se os ésteres, os glicóis e os ácidos graxos (RAO; PARAMESHWARAN; RAM, 2018). A Figura 9 apresenta algumas vantagens e limitações do material não parafínico.

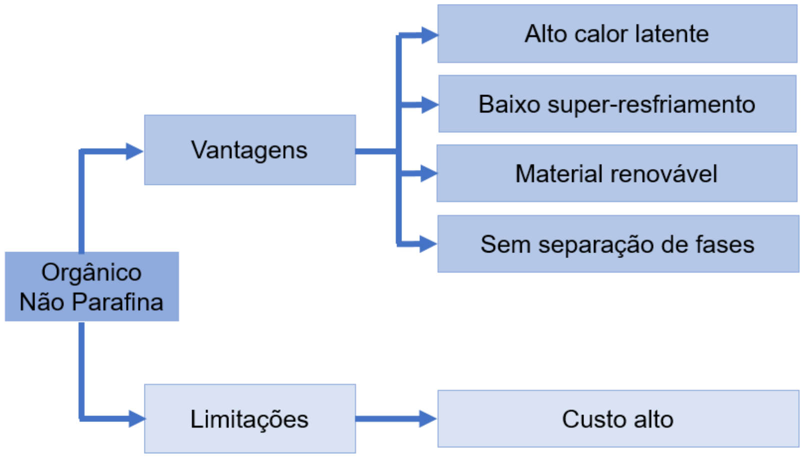


Figura 9 – Vantagens e limitações do material orgânico tipo não parafina.

Fonte: Adaptada de Rao, Parameshwaran e Ram (2018).

Para Ling e Poon (2013), a maioria desses PCMs é classificada como ácido e possui ponto de fusão semelhante ao da parafina. No entanto, esses produtos são muito mais caros (cerca de três vezes) do que a parafina. Diaz (2016) indica que os materiais não parafínicos possuem características importantes, como alto calor de fusão, baixa condutividade e toxicidade e instabilidades em suas temperaturas. Porém, Rao, Parameshwaran e Ram (2018) apresentam como desvantagem desse material a limitação de inflamabilidade e a aplicação em faixas de temperaturas mais baixas.

2.4.2 Materiais inorgânicos

Os PCMs inorgânicos, em geral, têm um calor de fusão alto, possuem boa condutividade térmica, são baratos e não são inflamáveis (BAETENS; JELLE; GUSTAVSEN, 2010). Enquadram-se como materiais inorgânicos os sais hidratados e os metálicos.

a) Sais hidratados

Para Diaz (2016), a fórmula geral dos sais hidratados é . Suas propriedades mais atraentes incluem alto calor latente de fusão, alta condutividade térmica e pequena mudança de volume. A Figura 10 apresenta vantagens e desvantagens dos sais hidratados.

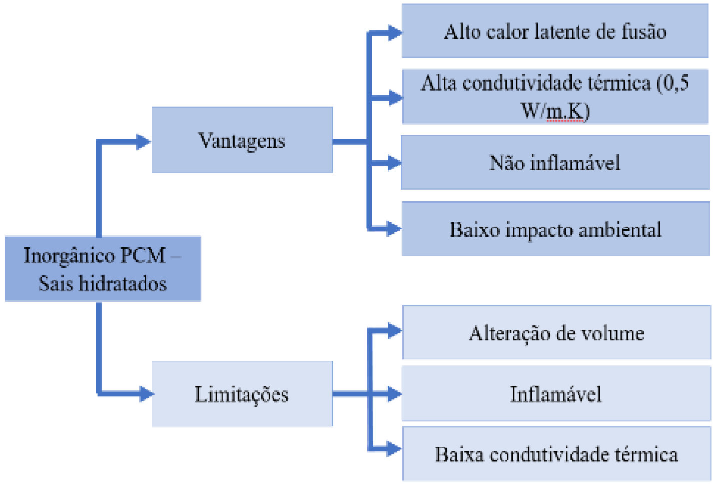


Figura 10 – Vantagens e limitações do material inorgânico sais hidratados.

Fonte: Adaptada de Memon (2014).

Baetens, Jelle e Gustavsen (2010) indicam que os sais hidratados são materiais atraentes para o armazenamento de energia térmica devido a sua alta densidade de armazenamento, cerca de 240 kJ/kg, alta condutividade térmica, cerca de 0,5 W/(m.K), e custo razoável em comparação com as ceras de parafina. Todos os sais hidratados apresentam uma estrutura cristalina bem definida. A Figura 11 apresenta a estrutura de dois materiais, o cloreto de cálcio (a) e o cloreto de sódio (b).

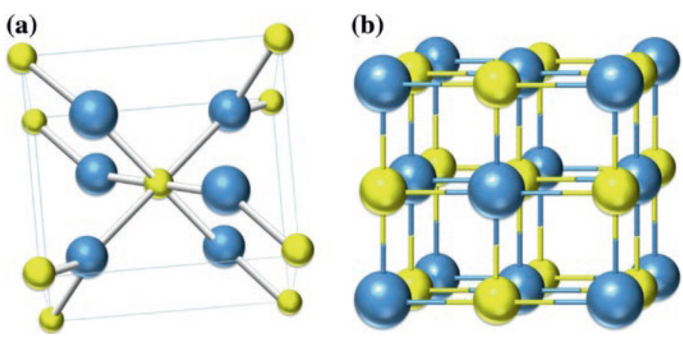


Figura 11 – Estrutura do material inorgânico sal hidratado.

Fonte: Fleischer (2015).

A Figura 11(a) apresenta a estrutura cristalina do cloreto de cálcio, que absorve facilmente a água para se tornar o cálcio hexa-hidratado. A estrutura cristalina parece ser bastante aberta em comparação com a estrutura cristalina do cloreto de sódio, fortemente compactada, conforme mostra a Figura 11(b), que no caso não é facilmente hidratada (FLEISCHER, 2015).

De acordo com Ling e Poon (2013), a alta mudança de volume e o seu super-resfriamento durante a mudança de fase entre o estado sólido-líquido fizeram com que os sais hidratados não fossem considerados adequados para ser incorporados ao concreto. Ainda de acordo com os autores, esse super-resfriamento é um problema dos PCMs inorgânicos, porque o estado líquido pode ser resfriado abaixo de seu ponto de congelamento, enquanto permanece líquido, o que torna a mudança de fase ineficiente.

Para Diaz (2016), o principal problema no uso dos sais hidratados é a sua fusão congruente, mas isso pode ser superado por agitação mecânica, encapsulamento, adição de água e espessantes, bem como modificação da composição química do sistema.

b) Metais

A família de metais e ligas metálicas é a mais subutilizada de todas as famílias comuns de PCM, isso se deve talvez pelo baixo calor latente que a maioria desses materiais possui (FLEISCHER, 2015).

Para Sharma et al. (2009), os materiais inorgânicos metálicos apresentam algumas características, como (i) baixo calor de fusão por unidade de peso; (ii) alto calor de fusão por unidade de volume; (iii) alta condutividade térmica; (iv) baixo calor específico; e (v) pressão de vapor relativamente baixa.

Para Fleischer (2015), os PCMs de metais e ligas metálicas incluem uma série de materiais com ponto de fusão na faixa de aplicações desejadas. Os metais mais promissores em aplicações de baixa temperatura são cério, gálio, índio, estanho e bismuto, enquanto nos metais para aplicações de alta temperatura incluem-se zinco, magnésio, alumínio e as suas ligas.

Ge et al. (2013) relatam que metais de baixo ponto de fusão também podem ser candidatos com elevado potencial por causa de suas propriedades, como alta condutividade térmica, baixa pressão de vapor e pequena expansão de volume durante a sua transição de fase.

2.4.3 Materiais eutéticos

Baetens, Jelle e Gustavsen (2010) afirmam que os materiais eutéticos são divididos em três grupos de acordo com os materiais que os constituem, sendo orgânicos-orgânicos, inorgânicos-inorgânicos e orgânicos-inorgânicos.

Segundo Zhou, Zhao e Tian (2012), os materiais eutéticos apresentam vantagens por possuir fusão aguda de acordo com a sua temperatura e alta volumetria para o armazenamento térmico.

3 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora os PCMs seja um material muito estudado no mundo afora, fica evidente a falta de publicação de trabalhos sobre PCM no Brasil. Uma das barreiras da não utilização desse produto no território brasileiro se dá devido ao seu custo em aplicações reais, bem como a sua falta de incentivo de estudos desses materiais que visam aumentar a eficiência energética aplicados na construção civil.

Diante do exposto, o trabalho se deu como explicativo por apresenta o conceito de PCM, bem como as estratégias e os tipos de PCM para a sua utilização em função do seu ponto de fusão.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. da S.; BRANDALISE, M. P.; MIZGIER, M. O. Materiais de mudança de fase como sistema de resfriamento passivo em habitações de interesse social pré-fabricadas leves. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, Campinas, São Paulo, v. 13, 2022. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v13i00.8666777.

BAETENS, R.; JELLE, B. P.; GUSTAVSEN, A. Phase change materials for building applications: a state-of-the-art review. **Energy and Buildings**, v. 42, 1361-1368, 2010. DOI 10.1016/j.enbuild.2010.03.026

BRITO, A. C. de *et al*. Características térmicas de materiais de mudança de fase adequados para edificações brasileiras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 125-145, jan./mar. 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100128.

CUNHA, S.; AGUIAR, J. B.; FERREIRA, V. Eco-efficient mortars with incorporation of phase change materials. **Journal of Building Physics**, p. 1-24, 2017.

CUNHA, S. *et al*. Influence of adding encapsulated phase change materials in aerial lime based mortars. **Advanced Materials Research**, v. 687, p. 255-261, 2013. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.687.255.

CUNHA, S. *et al*. Argamassas com incorporação de materiais de mudança de fase (PCM): caracterização física, mecânica e durabilidade. **Revista Matéria**, v. 20, n. 1, p. 245-261, 2015.

DIAZ, P. M. Analysis and comparison of different types of thermal energy storage systems: a review. **Journal of Advances in Mechanical Engineering and Science**, v. 2, n. 1, p. 33-46, 2016.

FARAJ, K. *et al*. A review on phase change materials for thermal energy storage in buildings: heating and hybrid applications. **Journal of Energy Storage**, Hal open science, Nov. 2020.

FLEISCHER, A. S. **Thermal energy storage using phase change materials**: fundamentals and applications. Villanova, PA, USA: Springer, 2015.

GE, H. *et al*. Low melting point liquid metal as a new class of phase change material: an emerging frontier in energy area. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 331-346, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.008.

GRADE, P. de J. S. P. da S. **Materiais de mudança de fase em revestimentos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.

GULFAM, R.; ZHANG, P.; MENG, Z. Advanced thermal systems driven by paraffin-based phase change materials: a review. **Applied Energy**, n. 238, p. 582-611, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.114.

GÜREL, B. A numerical investigation of the melting heat transfer characteristics of phase change materials in different plate heat exchanger (latent heat thermal energy storage) systems. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 2019. DOI 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.119117.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física**: gravitação, ondas e termodinâmica. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. 2.

KALNAES, S. E.; JELLE, B. P. Phase change materials and products for building applications: a state-of-the-art review and future research opportunities. **Energy and Buildings**, n. 94, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.023.

KHERADMAND, M. *et al*. Energy benefits of cement-based plaster containing hybrid phase-change material. **Construction Materials**, v. 171, n. 3, p. 117-125, 2018. DOI: https://doi.org/10.1680/jcoma.17.00027.

LING, T. C.; POON, C. S. Use of phase materials for thermal energy storage in concrete: an overview. **Construction and Building Materials**, n. 46, p. 55-62, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.031.

MARTINS, B. F. M. **Materiais de mudança de fase (PCM) para melhoria do desempenho térmico de edifícios**. 2017. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/b490/6576f8de8643cad74c4c920f37491c2a1558.pdf?_ga=2.261399501.156006525.1595209132-1471779208.1579830961.

MEMON, S. A. *et al*. Development of structural-functional integrated concrete with macro-encapsulated PCM for thermal energy storage. **Applied Energy**, n. 150, p. 245-257, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.137

RAO, V. V.; PARAMESHWARAN, R.; RAM, V. V. PCM – mortar based construction materials for energy efficient buildings: a review on research trends. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 95-122, 2018.

SHARMA, A. *et al*. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, n. 13, p. 318-345, 2009. DOI 10.1016/j.rser.2007.10.005.

SILVA, N. T. D. F. **Incorporação de materiais de mudança de fase em materiais de construção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2009.

TRISTÃO, P. J. S. **Encapsulação de materiais de mudança de fase (PCM) para aplicações no armazenamento de energia.** 2014. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis e Eficiência Energética) – Instituto Politécnico de Bragança, 2014. Disponível em: https://core.ac.uk/download/pdf/153412753.pdf.

YEON, J. H. Thermal behaviour of cement mortar embedded with low-phase transition temperature PCM. **Construction and Building Materials**, v. 252, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119168.

ZHOU, D.; ZHAO, C. Y.; TIAN, Y. Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. **Applied Energy**, v. 92, p. 593-605, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.025.

CAPÍTULO 2

APLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA BREVE REVISÃO

Data de aceite: 03/07/2023

Jânio Teles dos Santos
Graduando em Engenharia Civil, Faculdade de Ilhéus

Felipe José Estrela Marinho
Professor do Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Ilhéus

Ozana Almeida Lessa
Doutora em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

RESUMO: O setor da construção civil está em constante busca por inovações capazes de otimizar características dos materiais aplicados na área com o objetivo de se obter construções cada vez mais modernas, resistentes e, ao mesmo tempo, confortáveis e tecnológicas. Dentro dessa perspectiva a nanotecnologia tem emergido como uma ciência com potencial de atribuir características com alto desempenho, durabilidade, renovabilidade e, ainda ser ambientalmente amigável. Esses materiais, por possuírem partículas em escala nanometrícas são chamados de nanomateriais. Por se tratar de uma tecnologia nova e em crescimento este trabalho tem por objetivo realizar uma busca na literatura sobre essa temática especificamente na área da construção civil ressaltando suas aplicações. É possível encontrar materiais oriundos de nanoceluloses robusta e biodegradável, aplicações em concretos melhorando suas características, vidros com capacidade antiembaçadora, aços resistentes e leves e pinturas com resistência à sujeira e ao desbotamento, por exemplo. As pesquisas apontam para perspectivas de nanomateriais surpreendentes e com capacidades ainda inimagináveis, tudo isso faz com que, atualmente, a nanotecnologia seja considerada a tecnologia do futuro.
PALAVRAS-CHAVES: Nanocelulose. Nanomateriais. Nanociência.

APPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGY IN CIVIL CONSTRUCTION: A BRIEF REVIEW

ABSTRACT: The civil construction sector is in constant search for innovations capable of optimizing the characteristics of the materials applied in the area, with the objective of obtaining increasingly modern constructions that are resistant and, at the same time, comfortable and technological.

Within this perspective, nanotechnology has emerged as a science with the potential to attribute characteristics with high performance, durability, renewability and still being environmentally friendly. These materials, because they have particles on the nanometer scale, are called nanomaterials. As it is a new and growing technology, this work aims to carry out a literature search on this topic specifically in the field of civil construction, highlighting its applications. It is possible to find materials from robust and biodegradable nanocelluloses, applications in concrete improving its characteristics, glass with anti-fogging capacity, resistant and light steels and paints with resistance to dirt and fading, for example. Research points to prospects for surprising nanomaterials with still unimaginable capabilities, all of which makes nanotechnology currently considered the technology of the future.
KEYWORDS: Nanocellulose. Nanomaterials. Nanoscience.

1 I INTRODUÇÃO

O homem sempre buscou aprimorar os materiais com o qual executa seus trabalhos e, aliado à ciência, tecnologia e inovação a nanociência tem sido promissora em produção de materiais inteligentes e super capazes. Para isso, ela lança mão da manipulação de características dos compostos de materiais já existentes em minúsculas dimensões, chamados de nanomateriais, pois se trata de unidades nanométricas (SABRY, 2022).

A redução para escala nanométrica tende a proporcionar propriedades físico-químicas inteiramente novas e interessantes aos materiais, podendo ser aplicados em segmentos como revestimento, impermeabilizantes, argamassas poliméricas, adesivos e selantes, lubrificantes atóxicos, solventes biodegradáveis e ao concreto. A perspectiva de se melhor explorar as propriedades destes materiais tem levado pesquisadores e empresários do mundo inteiro a estudar e investir nessas áreas de nanociência e nanotecnologia (MIHINDUKULASURIYA E LIM, 2014).

Para MORAIS, 2012 essa tecnologia parece possuir a chave que permite que os materiais de construção reproduzam as características dos sistemas naturais que foram melhoradas até a perfeição durante milhões de anos.

Os polímeros derivados do petróleo foram apresentados ao mundo no início do século 20 como substitutos de materiais como seda e borracha de recursos naturais, mas foram projetados para se tornarem materiais convencionais de baixo custo e com propriedades superiores, representando a diminuição do uso de polímeros naturais. No entanto, uma transição da petroquímica para a bioeconomia, envolvendo o renascimento de polímeros renováveis, é esperado no 21 século (MÜLHAUPT, 2013).

Dentro desse contexto a nanotecnologia é a capacidade de criar objetos de qualidade superior aos existentes hoje, a partir da organização dos átomos e moléculas da forma desejada. Essa qualidade diz respeito a maior resistência, segurança e um baixo custo de produção (LESSA et al., 2021).

Especificamente na área de materiais e construção civil conseguir aliar materiais com alto poder de resistência, baixo custo e renovabilidade tem sido o alvo de pesquisas

pelo mundo. Assim, produtos como vidros, concretos, materiais de designers e outros tem sido desenvolvido e aplicado com sucesso em construções modernas.

Por se tratar de um assunto relativamente novo e promissor, foi realizada pesquisa exploratória através do site de busca Google Acadêmico utilizando associação de palavras na busca como "nanotecnologia + construção civil"; "nanotecnologia + engenharia civil"; "nanomateriais + construção civil"; "nanomateriais + engenharia civil"; "nanocelulose + engenharia civil"; "nanocelulose + construção civil". A mesma combinação de palavras foi usada no site de busca de patentes Google Patents. Foi feita uma leitura minunciosa dos materiais encontrados (artigos, trabalhos de conclusão de curso, monografias, teses e pedidos de patentes ou patentes concedidas) e um compilado de ideias do que já se tem de aplicações na área da engenharia civil.

Diante do exposto, essa revisão tem como objetivo fazer um levantamento através de busca em periódicos sobre os avanços da nanotecnologia, mais especificamente do uso e aplicação na área da construção civil.

2 | REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A nanociência e nanotecnologia

A Nanociência e a Nanotecnologia são associadas a termos como revolução invisível, miniaturização de estruturas, revolução industrial, admirável mundo novo, ficção científica, ciência e tecnologia dos materiais, entre outros. Todos esses termos expressam a ciência e a tecnologia capaz de produzir uma grande variedade de materiais com propriedades específicas e otimizadas para aplicações industriais diversas (MILLER, 2005). Trata-se de uma ciência multidisciplinar, por isso consegue destaque em todas as áreas do conhecimento, inclusive na engenharia de materiais.

Delas derivam materiais que são chamados de nanomateriais que, por definição, os materiais nanoestruturados apresentam, pelo menos, uma de suas dimensões em tamanho nanométrico. Segundo o Sistema Internacional de medidas (SI) o símbolo para medidas em nanômetro é nm, ou seja, em escala 1/1.000.000.000, ou um bilionésimo do metro (1 nm = 10^{-9} m). Nessa escala de tamanho, os materiais apresentam novas propriedades, antes não observadas quando em tamanho micro ou macroscópico, por exemplo, a tolerância à temperatura, a variedade de cores, as alterações da reatividade química e a condutividade elétrica (GALEMBECK e RIPPEL, 2004).

Para FERREIRA e RANGEL, 2009 a essência da nanotecnologia consiste na habilidade de se trabalhar em nível atômico, molecular e macromolecular a fim de criar materiais, dispositivos e sistemas com propriedades e aplicações fundamentalmente novas.

Por se tratar de uma tecnologia multidisciplinar possui um vasto campo de aplicação, se destacando em várias áreas, inclusive na construção civil, já que permite

o aprimoramento de materiais, tornando-os sustentáveis, econômicos e ecologicamente corretos.

O uso da nanotecnologia é uma alternativa promissora, visto que, possibilita grandes melhorias no processo construtivo, contribuindo para o aperfeiçoamento de materiais que ao serem utilizados concebem longevidade, segurança e praticidade às obras da construção civil (SOUZA, et al., 2019).

Apesar dessa nanorevolução os críticos costumam questionar se mexer com escalas tão minúsculas pode oferecer riscos à saúde humana e ao meio ambiente já que não se pode controlar e ainda não há estudos provando como essas nanopartículas se comportam após anos no organismo e na natureza. Outro ponto que ainda é um entrave para as aplicações de nanomateriais nos processos construtivos é o alto custo de acesso tanto aos matérias, quanto às pesquisas nessa área, sendo esse ponto algo comum em novas tecnologias.

2.2 Aplicações na Construção Civil

A versatilidade e as vantagens de aplicações da nanotecnologia também são perceptíveis na área da construção civil. Materiais tradicionais da área tem sido modificados, aprimorados e reforçados com a inclusão de nanopartículas. Os que mais tem ganhado destaque no mercado são abordados a seguir.

2.2.1 Aplicações em Concreto

Por ser um material que com características mecânicas de alta resistência à compressão, o concreto é o mais utilizado na construção civil (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo BATISTON (2012, p. 2) a adição de nano objetos ao cimento pode permitir o controle e o melhoramento do comportamento destes materiais, modificando sua nanoestrutura, o que pelas técnicas atuais não poderia ser alcançado. A possibilidade de controle da difusão progressiva de aditivos, o autorreparo através da utilização de nanocápsulas com material adesivo, o controle da fluência, e o aumento da resistência mecânica são alguns exemplos do que pode ser desenvolvido através da aplicação dos conceitos e técnicas geradas pela nanotecnologia.

A Figura 1 mostra um nanocimento. O produto é obtido com base na síntese de fibras nanométricas diretamente sobre o cimento. Elas modificam as propriedades mecânicas do material original após o acréscimo de água, resultando em um produto mais “enriquecido” e mais resistente a fissuras e à compressão e foi patenteado pelo grupo de pesquisas que o desenvolveu na UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais).



Figura 1. Cimento desenvolvido pela UFMG com síntese de nanotubo de carbono.

Fonte: ufmg.br.

Já para SOBOLEV e SHAH, 2008 os benefícios das nanopartículas no desempenho de materiais cimentícios se dariam por alguns fatores como:

- A boa dispersão das nanopartículas eleva a viscosidade na fase líquida, auxiliando a suspensão das partículas de cimento e agregados, o que eleva a resistência à segregação;

- Aumento da densidade da estrutura, com o preenchimento dos vazios entre grãos pelo nanomaterial;

- Aumento da velocidade do processo de hidratação do cimento, uma vez que estas partículas atuam como centro de cristalização;

- As nanopartículas colaboram para o desenvolvimento da composição da zona de transição, ocasionando uma melhor ligação agregado e pasta de cimento.

2.3 Aplicações em vidros

Embora a nanotecnologia seja considerada uma ciência recente e emergente, estudos apontam o uso da tecnologia sem conhecimento específico do que se tratava há séculos atrás. Dentre os exemplos, relata-se que na Europa, o colorido dos vitrais das igrejas medievais, tão ricamente trabalhados pelos artesões, era o resultado da formulação do vidro com nanopartículas de ouro (ALVES, 2004).

Conforme STAMATE e LAZAR (2007) *apoud* AUSTRIA, 2015 dentre as diversas área de aplicação e utilização dos efeitos fotocatalíticos da nanotitânia, pode-se citar algumas que são aplicadas a vidros e espelhos como, efeito autolimpante, propriedades antibacterianas e efeito antiembaçante. O efeito autolimpante devido a fotocatálise da nanotitânia ocorre com o desprendimento da nanotitânia à medida que ela recebe a incidência de luz e inicia, assim, o processo de degradação dos poluentes. No vidro, age também como autolimpante, anti-incrustante, esterilizando a superfície envidraçada.

A Figura 2 apresenta um nano produto indicado para proteção de vidros e espelhos comercializado no Brasil chamado de nanotecnologia protetiva com nano partículas de titânio para superfícies de vidro com ação hidro-repelente, indicado para vidros e espelhos das indústrias e hospitais, mantendo o brilho intenso do local pertencente à Nanoclean® Titânio Vidro.

As características básicas prometidas do Nanoclean® TITÂNIO VIDRO são: Atua como agente hidro repelente e anti sujidade; Promove a remoção de sujidades com facilidade; Economia de água e detergentes; Redução no tempo de limpeza; Suja menos; Evita a formação de biofilmes; Evita manchas; Fácil aplicação; Longevidade de 10 anos em vidros prediais; Longevidade de 3 anos em box de banheiro; Baixo risco tóxico; Resistente aos raios UV; Não removível com detergentes, soluções cloradas, produtos alcalinos e produtos ácidos (Informações obtidas no site da empresa Nanoclean® Titânio Vidro).



Figura 2. Nanotecnologia aplicada em vidros.

Fonte: nanoclean.ind.br.

Essa característica adquirida através da aplicação da nanotecnologia garante um vidro muito mais duradouro, translúcido e sem necessidade de limpeza manual frequente, o que colabora com a diminuição nos custos de manutenção.

2.4 Compósitos nanocelulósicos

O termo “nanocelulose” é amplamente usado para descrever a celulose na forma de fibras ou cristais com comprimento em poucos micrômetros (< 5000 µm) e diâmetro <100 nm, podendo ser extraído de fibras naturais de celulose (NASIR et al., 2017). A síntese e aplicação dessas nanopartículas celulósicas alcançou um crescimento notável devido à sua natureza biodegradável, grande área específica, excelentes propriedades mecânicas, alta resistência química, cristalinidade e fácil funcionalização da superfície (CHEN et al., 2018; THOMAS et al., 2018).

Essas propriedades físico-químicas exclusivas da nanocelulose permitem que elas sejam potencialmente usadas em muitos campos como, por exemplo, em automóveis, interiores e estruturas aeroespaciais, dispositivos de energia, embalagens, impressão 3D, membrana, eletrônica flexível (FANG et al., 2019). A Figura 3 mostra possíveis aplicações da nanocelulose.

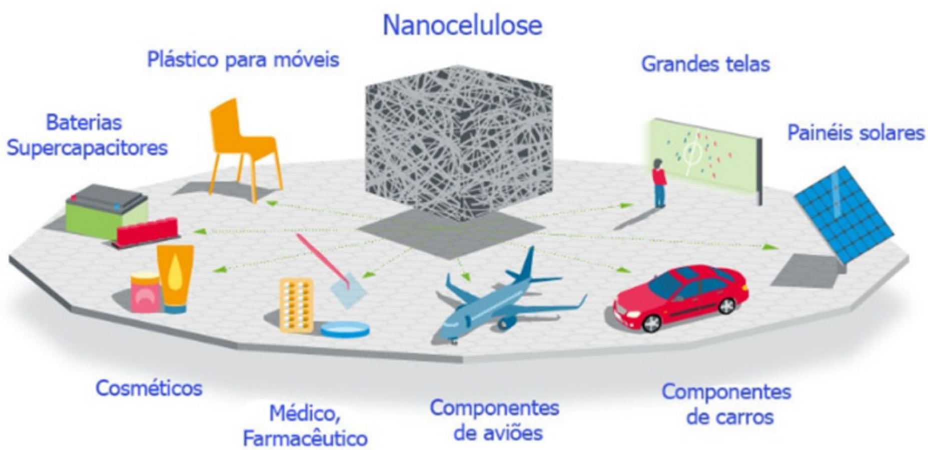


Figura 3. Possíveis Aplicações da Nanocelulose.

Fonte: stylourbano.com.br,2023.

Os nanocompósitos consiste na mistura de nanoceluloses com materiais já utilizados pelas indústrias, como por exemplos os materiais poliméricos, agregando robustez, renovabilidade e atenuando os impactos ambientais causados pelos resíduos da construção civil.

O crescente interesse em melhorar a qualidade do meio ambiente, aliado ao acúmulo de lixo não biodegradável, tem incentivado pesquisas em todo o mundo no sentido de incrementar e desenvolver materiais biodegradáveis provindas de fontes renováveis (THARANATHAN, 2003; PORTES et al., 2008; PEREIRA et al., 2017).

2.5 Aplicações em Aço

O aço é considerado um dos elementos mais importantes na construção civil. E, por isso, também é alvo de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos. As características primordiais que buscam aperfeiçoar no aço são: dar maior resistência a esse elemento, aprimorar a capacidade antioxidante para acabar com o processo corrosivo e melhorar sua soldabilidade tornando o processo mais simples e duradouro (NARDIN, 2008).

Alguns aços já foram desenvolvidos com aplicação da nanotecnologia em outros países. Estes aços apresentam propriedades mecânicas superiores aos outros aços de alta resistência, como por exemplo, maior resistência à tração, ductilidade e resistência à fadiga.

Tais propriedades podem levar a maior vida útil em ambientes corrosivos e menores custos de construção. Os aços de alto desempenho são voltados para projetos que requerem designs leves e rígidos.

Além das aplicações apresentadas uma vasta possibilidade de materiais tem sido desenvolvido e comercializado, dentre outros materiais de igual importância para a construção civil. tais como:

- Materiais de revestimentos, como tintas inteligentes;
- Nanosensores com capacidade de economia de energia;
- Nanoplásticos com alta resistência e biodegradabilidade;
- Capeamento de vidros e aplicações antierosão a metais;
- Filtros de proteção solar;
- Material para proteção contra raios ultravioleta;
- Nano-cola capaz de unir qualquer material a outro;
- Produtos para limpar materiais tóxicos;
- Sistemas de filtração do ar e de água.

2.6 Inovações

Diversas pesquisas tem sido feitas em busca de materiais de alta performance e os pedidos de patentes junto ao INPI (Instituto Nacional de Pesquisa e Inovação) envolvendo nanotecnologia com possíveis aplicações na área da engenharia civil tem crescido. A Tabela 1 apresenta algumas patentes/ pedidos de patentes e suas funcionalidades para a construção civil.

Título	Registro / Inventores	Breve descrição
Peças de gesso de alta resistência e método de obtenção de tais peças	BRPI0506033B1. Milton Ferreira De Souza; Hebert Luis Rossetto; Wellington Massayuki Kanno	Peças de gesso de alta resistência e método de obtenção de tais peças refere-se á formação de peças de gesso (sulfato de cálcio dihidratado) com alta resistência mecânica obtida com o auxílio de películas de água com espessura nanométrica.
Nanocelulose da casca da amêndoa do cacau processos e produção	BR102020003432A2. Ozana Almeida Lessa; Marcelo Franco	As nanofibrilas da casca da amêndoa do cacau possuem potencialidade de aplicação em produção de embalagens... aplicação como matriz polimérica, termoplástica ou termofixa nas indústrias de materiais, construção civil, agricultura, indústria farmacêutica e de papel.
Processo de produção de espumas poliolefínicas, processo obtenção de nanocelulose acetilada, espumas poliolefínicas e uso das mesmas	BR102017021270A2. Ademir José Zattera; Ruth Marlene Campomanes Santana; Matheus Vinícius Gregory Zimmermann	Nanoestrutas de celulose em composições de espumas poliolefínicas, promovendo uma maior nucleação de células, obtendo resultados e propriedades superiores se comparado ao uso das microcargas convencionais.

Cimento pozolânico nanoestruturado com adição de argila calcinada enriquecida com nanotubos de carbono	BR102021016774A2. Viviany Geraldo De Morais et al.	Obtenção de argila pozolânica enriquecida com nanotubos de Carbono (NTC), para aplicação em matrizes cimentícias.
Bloco de concreto celular nanoestruturado, processo de obtenção de blocos de concreto celular nanoestruturado, uso de cinza de casca de arroz, uso de resíduo de ágata e uso de nanocompósito	BR102019007250A2. Jocenir Boita; Marcela Trojahn Nunes; Fabiele Schaefer Rodrigues	Blocos de concreto celular nanoestruturado que compreendem cimento e resíduo em nanocompósitos, sendo que esses resíduos podem ser selecionados entre resíduo de ágata e cinza de casca de arroz.
Disposição construtiva aplicada em manta aluminizada nanotérmica asfalto adesiva	BR202022007911U2. José Gonçalves Da Silva Luis	um novo produto, com emprego da nanotecnologia, capaz de realizar quatro funções simultâneas, isolamento térmico, isolamento acústico, vedação e impermeabilização.

Tabela 1. Algumas inovações aplicáveis à construção civil disponíveis no Google Patents como patente ou pedido de patente junto ao INPI.

BORSCHIVER e colaboradores em 2015 fizeram um levantamento de patentes na área de nanotecnologia e afirmaram que as primeiras patentes envolvendo este assunto começaram a ser publicadas na metade da década de 80, havendo a partir de então um crescente aumento no número de depósitos. E ainda complementam que patentes envolvendo materiais poliméricos nanoestruturados, só apareceram na década de 90.

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a nanotecnologia seja uma ciência que vem em crescente nos últimos anos, o acesso aos conhecimentos e produtos gerados por ela ainda não se tornaram popular. Uma das barreiras da popularização do conhecimento está na complexidade de entendimento das questões multidisciplinar que envolve as pesquisas e, quanto aos produtos nanoestruturados já comercializados, o custo elevado.

No tocante às aplicações na engenharia civil, os avanços tem sido visíveis e benéficos; as pesquisas apontam para perspectivas de nanomateriais surpreendentes e com capacidades ainda inimagináveis, tudo isso faz com que atualmente a nanotecnologia seja considerada a tecnologia do futuro.

É interessante que o profissional engenheiro civil acompanhe as mudanças e descobertas nos anos vindouros para estar atualizado e os nanomateriais possam ser cada vez mais utilizados e valorizados em obras.

REFERÊNCIAS

ALVES, O. L.; Parcerias Estratégicas, 18, 23, 2004.

AUSTRIA, Gabriela Cortes. Argamassa autolimpante para revestimento de fachadas: O efeito das Propriedades fotocatalíticas do dióxido de titânio (Tio2). Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

BATISTON, Eduardo Roberto. Incorporação de nanotubos de carbono em matriz de cimento portland. 2012. 152 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

BORSCHIVER, S.; GUIMARÃES, M. J. O. C.; SANTOS, T. N. dos, SILVA, F. C. da; BRUM, P. R. C. Patenteamento em nanotecnologia: Estudo do setor de materiais poliméricos nanoestruturados. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 15, 4, 245-248, 2005.

CHEN C., LI D., ABE K., YANO H. Formation of high strength double-network gels from cellulose nanofiber / polyacrylamide via NaOH gelation treatment. Cellulose, 25, 5105–5113, 2018.

FANG, Z., HOUA, G., CHENB, C., HUB, L. Nanocellulose-based films and their emerging applications. Current Opinion in Solid State & Materials Science. Cap. 23, 2019.

FERREIRA, H. S.; RANGEL, M. do C. Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. Quím. Nova 32 (7), 2009.

GALEMBECK, F.; RIPPEL, M. M.; Parcerias Estratégicas, nº18, 43, 2004.

GÓMEZ, H.C., PUTAUX, J.-L., ZULUAGA, R. Influence of combined mechanical treatments on themorphology and structure of cellulose nanofibrils: thermal and mechanical properties of the resulting films. Ind. Crops Prod. 85, 1–10, 2016.

LESSA, O. A.; CARVALHO, I. M. ; SOUZA, L. O. ; TIENNE, L.G.P. ; DIAS, M. C. ; TONOLI, G. H. D. ; VILAS BOAS, E. V. B. ; LEITE, S. G. F. ; GUTARRA, M. L. E. ; IRFAN, M. ; BILAL, M. ; FRANCO, M. . New biodegradable film produced from Cocoa Shell Nanofibrils containing bioactive compounds. JCT Research, 2021.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

MIHINDUKULASURIYA, S. D. F.; LIM, L. -T. Nanotechnology development in food packaging: A review. Trends in Food Science & Technology. Special Issue: Nanotechnology in Foods: Science behind and future perspectives, (2): 149–167, 2014.

MILLER, JOHN C., SERRATO, R., KUNDAHL, G. The Handbook of Nanotechnology: Business, Policy and Intellectual Property Law. First Edition, New Jersey, Wiley, 2005.

MORAIS, J. F de. Aplicações da nanotecnologia na indústria da construção: Análise experimental em produtos cimentícios com nanotubos de carbono. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, 2012.

MÜLHAUPT, R. Green polymer chemistry and bio-based plastics: dreams and reality. Macromolecular Chemistry and Physics, 214, 159–174, 2013.

NARDIN, F. A. A Importância da Estrutura Metálica na Construção Civil. Itatiba: Universidade São Francisco (USF), 2008.

PORTES, E.; GARDRAT, C.; CASTELLAN, A.; COMA, V. Enviromentally friendly films based on chitosan and tetrahydrocurcuminoid derivatives exhibiting antibacterial and antioxidative properties. Carbohydrate Polymers, 76, 4, 578-584, 2009.

SABRY, Fouad. Nanomateriais. Editora Um Bilhão Bem Informado. Livro digital, 370 p. 2022.

SOBOLEV, K.; SHAH, S.P. Nanotechnology of concrete: recent developments and future perspectives. American Concrete Institute, 254, 93-120, 2008.

THARANATHAN, R.N. Biodegradlable films and composite coatings: past, present and future. Trends in Food Science & Technology, Cambridge, v.14, p.71-78, 2003.

SOUZA L. O., LESSA O. A, DIAS M. C, TONOLI G. H. D., REZENDE D. V. B., MARTINS M. A., NEVES I. C. O., RESENDE J. V., CARVALHO E. E. N., VILAS BOAS E. V., DE OLIVEIRA J. R., FRANCO M. Study of morphological properties and rheological parameters of cellulose nanofibrils of cocoa shell (Theobroma cacao L.). Carbohydrate Polymers. 214,152–158, 2019.

THOMAS, B., RAJ, M. C., JOY, J., MOORES, A., DRISKO, G. L., SANCHEZ C. Nanocellulose, a versatile green platform: from biosources to materials and their applications. Chemical Reviews., 118. 11575–11625, 2018.

VELÁSQUEZ-COCK, J., GANÁN, P., POSADA, P., CASTRO, C., SERPA, A., GÓMEZ, H.C., PUTAUX, J.-L., ZULUAGA, R. Influence of combined mechanical treatments on themorphology and structure of cellulose nanofibrils: thermal and mechanical properties of the resulting films. Ind. Crops Prod. 85, 1–10, 2016.

TELHADO VERDE - VANTAGENS E BENEFÍCIOS TRAZIDOS PARA AS EDIFICAÇÕES[1]

Data de aceite: 03/07/2023

Ângela Lassen
Graduanda em Engenharia Civil, UNIJUÍ. Bolsista CNPq - Programa de Educação Tutorial

Ana Júlia Martins Gramville
Graduanda em Engenharia Civil, UNIJUÍ. Bolsista CNPq - Programa de Educação Tutorial

Laura Valentini Dessoy
Graduanda em Engenharia Civil, UNIJUÍ. Bolsista CNPq - Programa de Educação Tutorial

Paula Bellé Blume
Graduanda em Engenharia Civil, UNIJUÍ. Bolsista CNPq - Programa de Educação Tutorial

Bárbara Rabelo
Graduanda em Engenharia Civil, UNIJUÍ. Bolsista CNPq - Programa de Educação Tutorial

Diorges Carlos Lopes
Docente do curso de graduação em Engenharia Civil da UNIJUI, Tutor - Programa de Educação Tutorial

Laura de Fátima Nunes da Luz
Graduanda em Engenharia Civil, UNIJUÍ. Bolsista CNPq - Programa de Educação Tutorial

RESUMO: Um telhado verde pode ser descrito como a cobertura vegetal de um edifício. Nas grandes cidades, a escassez ambiental é visível em todos os lugares dada a quantidade de áreas verdes substituídas por concreto e asfalto. Deste ponto de vista, a utilização de coberturas verdes é uma boa opção para recompensar a falta de espaços verdes. No desenvolvimento deste estudo, são expostas as principais vantagens dos telhados verdes, os quais têm-se revelado muito eficaz na melhoria do conforto térmico e acústico.
PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade. Acústica. Conforto.

GREEN ROOF - ADVANTAGES AND BENEFITS FOR BUILDINGS

ABSTRACT: A green roof can be described as a buildings's vegetal roofing. In the big cities, the enviromental scarcity is visible in

1. Pesquisa institucional desenvolvida e pertencente ao Programa de Educação Tutorial- PET Engenharia Civil;

every places due to the amout of green areas being replaced by concrete and asphalt. From this point of view, the usage of green roofing is a good option to recompensate the lack of green spaces. In the development of this study, the main advantages of green roofs are exposed, ones wich have been revealing to be very efficient on the acoustic and thermal improviment.

KEYWORDS: Sustainability. Acoustics. Comfort.

INTRODUÇÃO

No campo da construção civil toda obra de qualquer porte acaba por gerar resíduos e produzir graves impactos econômicos, sociais e principalmente ambientais (SPADOTTO, et al., 2011)

Telhados verdes podem ser caracterizados como uma cobertura vegetal nas edificações, são usados principalmente nos centros urbanos tendo como principais características: a mitigação dos efeitos das ilhas de calor, conforto térmico e diminuição dos ruídos nos ambientes internos, recuperação das áreas verdes, minimização dos picos de vazões, sobretudo em chuvas de baixas intensidades (FERRAZ, 2012).

Consequentemente o telhado verde se torna uma ótima alternativa para reduzir os impactos ambientais da construção civil. Ao investir em ecotelhados, investe-se também na melhoria da qualidade de vida, através do conforto acústico e térmico (SILVA, 2011).

Este trabalho tem por objetivo analisar as vantagens trazidas com a implantação de telhados verdes nas edificações, avaliando sua contribuição para a sustentabilidade.

METODOLOGIA

O presente artigo tem como base o referencial teórico e prático extraído de outros estudos que foram realizados sobre o tema. Conhecendo os resultados das demais pesquisas realizadas anteriormente sobre o assunto, podem-se reunir as informações mais relevantes e obter um novo entendimento sobre tema. Foram analisados e comparados dados de alguns estudos em que o foco são os benefícios obtidos com a implantação do telhado verde.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Associação Internacional de Telhado Verde (na sigla em inglês, IGRA), define os telhados verdes em três categorias: extensivo, semi-intensivo e intensivo, cada qual mais adequado para um determinado tipo de estrutura ou para a função a ele designada (COFCEVICZ, 2018).

Todos eles compartilham da mesma estrutura, apenas variando em espessura, materiais e, no caso do solo e da vegetação, composição (COFCEVICZ, 2018). Composição do telhado verde, apresentada na figura 1.

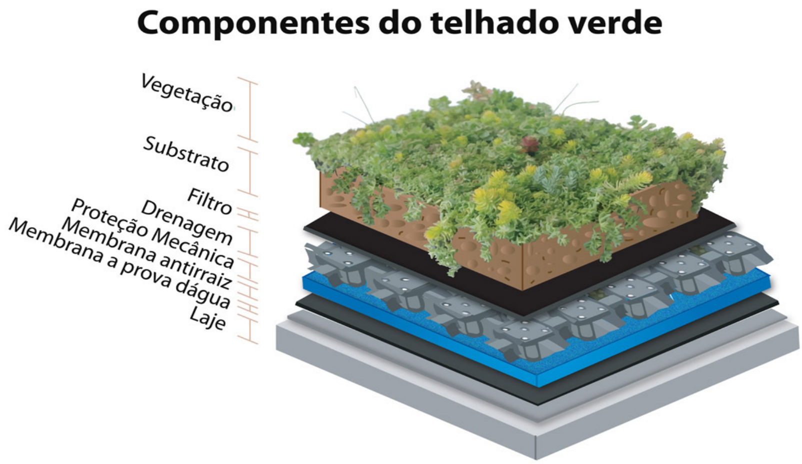


Figura 1 -Esquema de montagem para telhados verdes.

Fonte: Vieira, 2017.

Vantagens Térmicas

Os telhados verdes reduzem também os efeitos danosos dos raios ultravioletas, os extremos de temperatura e os efeitos do vento, sendo que nesses telhados a temperatura não passa de 25º C contra 60º C dos telhados convencionais (CARMOSA, 2003).

Vantagens Acústicas

Os substratos dos telhados verdes possuem propriedades interessantes na absorção sonora por serem altamente porosos e permitirem que as ondas acústicas entrem no meio deles (PIOVESAN, 2013, apud VAN RENTERGHEM; BOTTELDOOREN, 2011).

A principal característica dos materiais porosos é o fluxo de ar que há através do material, como resultado de uma diferença de pressão entre os dois lados do material. As propriedades de absorção de um material poroso dependem de variáveis, incluindo a sua espessura, densidade, porosidade, resistência e orientação das fibras de fluxo. (PIOVESAN, 2013)

De acordo com Masini e Teodoro (2011) o Coeficiente de redução sonora (NRC) pode ser definido como sendo a média aritmética dos coeficientes de absorção sonora das bandas de oitava de 250 a 2000 Hz, que representa a performance de absorção sonora de um material acústico. Coeficiente de redução sonora, apresentado na tabela 1.

Experimentos	Espessura total (cm)	NRC
Experimento 01-Alveolar com 2,5cm de substrato	5,82	0,75
Experimento 02- Alveolar com grama	9,82	0,73
Experimento 03- Alveolar com 4 cm de substrato	7,32	0,80
Experimento 04- Hexa com 4 cm de substrato (dentro da placa)	7,02	0,60
Experimento 05- Hexa com 6 cm de substrato (dentro da placa)	7,02	0,77
Experimento 06- Hexa com sedum	15,02	0,81

Tabela 1 - Coeficiente de redução sonora -NRC- dos experimentos.

Fonte: Piovesan, 2013, p.66.

Observa-se na tabela 1, que os experimentos revelaram, que os mecanismos de absorção sonora desses telhados, assemelham-se a família dos materiais porosos (PIOVESAN, 2013). Comparação de experimentos em diferentes telhados, apresentada na tabela 2.

Material	2 kHZ	4 kHz	NRC
Experimento 06-sedum	0,89	0,90	0,81
Concreto aparente –laje cobertura (Bistafa, 2006)	0,02	0,02	0,02
Cobertura Fibrocimento	0,01	0,01	0,01
Telha acústica (IFSC)	0,99	0,99	0,94

Tabela 2– Comparação dos experimentos de telhado verde com outras coberturas.

Fonte: Piovesan, 2013. p.76.

Observando os dados da tabela 2 percebe-se uma grande diferença no coeficiente de redução sonora, entre telhados verdes e uma laje de cobertura.

Armazenamento de água

A habilidade de reter de água dos ecotelhados, acabam o tornando um forte aliado contra enchentes e inundações. Segundo Santos (2018) o escoamento aproximado de um telhado verde é de 30% do volume total da precipitação, enquanto que os sistemas de cobertura comum apresentaram valores superiores a 70% do volume total da precipitação. Unindo a ótima capacidade de reter água com um sistema de calhas e cisternas é possível reutilizar a água proveniente de chuvas para a manutenção da residência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos grandes centros é visível a escassez ambiental em todos os pontos, levando em consideração a quantidade de áreas verdes substituídas por concreto e asfalto. Com relação a isso, destaca-se o uso do telhado verde, como uma boa opção para suprir a falta de áreas verdes.

No desenvolvimento desta pesquisa foram apresentados os principais benefícios que o telhado verde proporciona. Comprovando a sua grande eficácia para melhorar o conforto térmico e acústico.

No Brasil, os telhados verdes não são uma prática muito comum, isso ocorre devido à falta de divulgação dos benefícios dessa tecnologia. Além do pensamento comum de ser um investimento desnecessário, isso porque o retorno não surge de imediato, é preciso tempo para receber o retorno financeiro, como lucro indireto ou direto.

REFERÊNCIAS

CARMOSA. **Telhados verdes**. 2003. Disponível em: < encurtador.com.br/vCH37>. Acesso em: 06 junho de 2022.

COFCEVICZ, Pedro. **Natureza nas alturas: telhado verde**. 2018. EJECiv - Arquitetura e Engenharia civil. Porto Alegre. Disponível em:< encurtador.com.br/rsFGU >. Acesso em: 05 junho de 2022.

FERRAZ, Iara Lima. **O Desempenho Térmico de um Sistema de Cobertura Verde em Comparação ao Sistema Tradicional de Cobertura com Telha Cerâmica.** 2012. Dissertação de Mestrado, Departamento de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, Brasil, 2012. Disponível em: < encurtador.com.br/luBN4 >. Acesso em: 22 maio de 2022.

JAHNKE, Letícia Thomasi; WILLANI, Sheila Marione Uhlmann; ARAÚJO, Tiago Luiz Rigon. **O IPTU verde: Práticas sustentáveis trazem benefícios financeiros à população.** 2012. Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM. Disponível em: <www.ufsm.br/redevistadireito> Acesso em: 02 julho de 2022.

LEITE, Vinicius Fares. **Certificação ambiental na construção civil – Sistemas LEED e AQUA**. Monografia. 2011. Belo Horizonte Escola de Engenharia da UFMG. Disponível em: <https://mac.arq.br/wp-content/uploads/2016/03/certificacoes-leed-e-aqua-trabalho-final-graduacao.pdf > Acesso em: 27 maio de 2022.

MASINI, Henrique Forlani; TEODORO, Elias Bitencourt. **Medição automática do coeficiente de absorção acústica de materiais**. 2011. Disponível em :< encurtador.com.br/efpN1> Acesso em: Acesso em: 08 junho de 2022.

PIOVESAN, Tenile Rieger. **Caracterização acústica de dois sistemas modulares de telhados verdes brasileiros**. Dissertação de Mestrado. 2013. Universidade Federal de Santa Maria centro de tecnologia programa de pós-graduação em engenharia civil. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7843> Acesso em: 10 junho de 2022.

SANTOS, Layla Carrijo. **Análise do custo benefício da implantação do sistema construtivo de telhado verde em uma edificação no município de barra do garças – MT**. TCC. 2018. Disponível em: < encurtador.com.br/oqtwZ >. Acesso em: 15 junho de 2022.

SILVA, Neusiane da Costa. **Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. 60 f. Monografia. 2011. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, ago. 2011. Disponível em: < encurtador.com.br/wDVWY >. Acesso em: 22 junho de 2022.

SPADOTTO, Aryane; DALLA NORA, Dalini; TURELLA, Elisa Cristina Lopes; WERGENES Tiago Nazario; BARBISAN, Ailson Oldair. **Impactos ambientais causados pela construção civil.** 2011. Unoesc & Ciência – ACSA, Joaçaba. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/235124968.pdf>. Acesso em: 20 junho de 2022.

SLOPE STABILITY THROUGH PREDICTABILITY USING MACHINE LEARNING ON SYNTHETIC DATA

Data de aceite: 03/07/2023

Tallys Celso Mineiro

Carlos Rodrigues Pontes

ABSTRACT: The study of slope stability benefits the society in several aspects, whether in the context of road infrastructure, urban slopes or even artificial slopes. Several methodologies can be used to analyze the stability of a slope, usually finite element computational tools are used for such analysis from simple to complex study cases. The predictability of slope stability through a database using Machine Learning methodology is an alternative of initial analysis that promotes an early understanding of the needs in synthetic pre-defined study cases in order to obtain predictable conditions for the stability of a slope, defining its constituent soil and slope geometry. The results are effective since the goodness of fit is 0.95 for Linear Regression Model and 0.94 for Random Forest Regression Model. Thus, it can be verified that the use of Machine Learning in this type of study helps in the decision-making process, as well as being effective in pre-dimensioning for future projects.

KEYWORDS: Slope stability, Machine Learning, predictability, programming.

1 I INTRODUCTION

The process of analyzing and predicting slope stability, according to Lin (2018), is extremely important for geotechnical engineering. This is due to the fact that to reduce and prevent accidents caused by slope ruptures, whether artificial or not, an exquisite study of slope stability analysis and structural stabilization processes is required. Certainly, the structural complexity of slopes makes the study of predictability in this field of study challenging. Therefore, computer simulations are very categorical tools for thriving in analysis processes such as this one.

In these last decades, the application of data mining and computational predictability tools has grown voraciously due to the adaptability capacity of establishing non-linear relationships between input and output

data of statistical methods (Bui, 2019). Although Lin (2018) points out that, depending on the regression or classification method used, these may not be enough to solve the problem.

Many regression methods implemented in programming have been developed, among these two that are interesting for the study of slope stability are Linear Regression, due to the similarity with the model proposed by Mohr-Coulomb, and Random Forest Regression, which has the ability to unify statistical regressivity and decisive classification to propose a selectivity of correlative data.

Thus, the present study aims to apply the regression models implemented in Machine Learning to analyze the data, provided by them, to the parameters present in a synthetic database reproduced and generated by the GeoStudio SLOPE/W software in order to compare and validate if the models adopted will be able to adapt to the real database in order to enable better conditions for dimensioning slope projects and facilitate decision-making inherent to questions on the subject.

2 I METHODOLOGY

2.1 Slope geometry and database

The case studies analyzed here range from simple to complex slopes. In these, several variables can interfere with regard to the stability of the structure, ranging from the slope of the slope, its height and its constituent materials. Figure 1 exemplifies an outline of the slope geometry that can be different on the hight.

The synthetic database is composed of 240 simulated cases with slopes varying from 3 to 6 meters in height (H) with slope conditions (f) varying between 45°, 60° and 75°. The slopes are composed of only one layer of soil to simplify the analysis and modeling process. According to the modeling methodology of Silva et al (2013), the cohesions (C) vary between 0, 2, 4, 6 and 8 KPa and friction angles (Φ) vary among 25°, 30°, 35° and 40°. Regarding the specific weight (Y) of the constituent soils, they vary from 13 kN/m³, to 20 kN/m³.

Therefore, using combinations of these parameters, 40 synthetic soil types can be simulated and with the 6 types of geometric combinations, a result of 240 data from simulated case studies is obtained as mentioned.

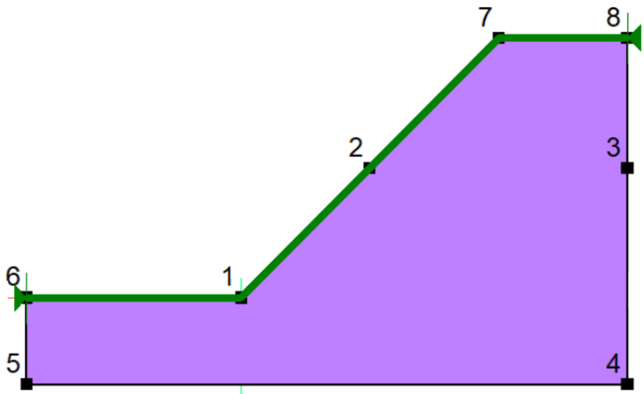


Figure 1. Geometric conformation of slopes.

Concerning the database, it is formed by the variables described above, these data being implemented in the GeoStudio software and obtaining their respective safety factors (SF) according to the analysis model proposed by Fellenius. Table 1 shows the database with the case studies, in which the index shown corresponds to the height of the slope and its slope with the horizontal, respectively. Therefore, SF3 A45, indicates the factor of safety simulated in a slope of 3 meters of height with inclination of 45°.

When it comes to safety coefficients to evaluate the stability conditions or susceptibility to slope failure, according to the balance of acting forces and resistive forces, the SF index can be classified according to Carvalho (1991) as unstable (SF<1), condition stability limit associated with imminent failure (SF=1) and stable (SF>1).

SOIL	COHESION	FRICTION ANGLE	SPECIFIC WEIGHT	SF3 A45	SF6 A45	SF3 A60	SF6 A60	SF3 A75	SF6 A75
Soil 1	0	25	13	0.66	0.494	0.382	0.301	0.268	0.201
Soil 2	0	30	13	0.818	0.612	0.474	0.372	0.331	0.249
Soil 3	0	35	13	0.992	0.742	0.574	0.451	0.402	0.302
Soil 4	0	40	13	1.188	0.89	0.688	0.541	0.481	0.362
Soil 5	2	25	13	1.029	0.81	0.818	0.603	0.64	0.469
Soil 6	2	30	13	1.187	0.944	0.91	0.687	0.708	0.536
Soil 7	2	35	13	1.361	1.092	1.01	0.779	0.784	0.61
Soil 8	2	40	13	1.557	1.26	1.124	0.884	0.868	0.694
Soil 9	3	25	15	1.14	0.884	0.949	0.667	0.747	0.525
Soil 10	3	30	15	1.297	1.018	1.04	0.763	0.815	0.592
Soil 11	3	35	15	1.471	1.166	1.141	0.855	0.89	0.666
Soil 12	3	40	15	1.668	1.334	1.255	0.96	0.975	0.75

Soil 13	4	25	15	1.3	0.991	1.085	0.749	0.873	0.606
Soil 14	4	30	15	1.457	1.125	1.218	0.85	0.968	0.673
Soil 15	4	35	15	1.631	1.273	1.33	0.96	1.044	0.747
Soil 16	4	40	15	1.828	1.441	1.444	1.069	1.129	0.831
Soil 17	4	25	17	1.225	0.941	1.023	0.711	0.817	0.568
Soil 18	4	30	17	1.382	1.075	1.14	0.811	0.896	0.635
Soil 19	4	35	17	1.556	1.223	1.241	0.913	0.971	0.709
Soil 20	4	40	17	1.753	1.39	1.355	1.017	1.056	0.793
Soil 21	6	25	19	1.418	1.059	1.182	0.809	0.99	0.657
Soil 22	6	30	19	1.575	1.204	1.315	0.91	1.086	0.733
Soil 23	6	35	19	1.749	1.352	1.462	1.021	1.192	0.807
Soil 24	6	40	19	1.946	1.52	1.583	1.146	1.282	0.891
Soil 25	6	25	18	1.46	1.08	1.216	0.831	0.959	0.674
Soil 26	6	30	18	1.617	1.232	1.349	0.932	1.055	0.754
Soil 27	6	35	18	1.791	1.38	1.497	1.043	1.157	0.828
Soil 28	6	40	18	1.988	1.548	1.633	1.168	1.242	0.912
Soil 29	2	25	19	0.913	0.732	0.681	0.524	0.528	0.409
Soil 30	2	30	19	1.07	0.866	0.772	0.607	0.595	0.477
Soil 31	2	35	19	1.244	1.014	0.873	0.7	0.668	0.548
Soil 32	2	40	19	1.441	1.182	0.987	0.804	0.747	0.608
Soil 33	8	25	17	1.789	1.245	1.487	0.988	1.227	0.804
Soil 34	8	30	17	1.947	1.407	1.62	1.099	1.328	0.889
Soil 35	8	35	17	2.121	1.586	1.767	1.211	1.434	0.983
Soil 36	8	40	17	2.317	1.769	1.934	1.337	1.554	1.079
Soil 37	8	25	20	1.62	1.16	1.348	0.912	1.107	0.737
Soil 38	8	30	20	1.777	1.322	1.481	1.013	1.203	0.822
Soil 39	8	35	20	1.951	1.488	1.628	1.125	1.309	0.909
Soil 40	8	40	20	2.148	1.655	1.794	1.25	1.429	0.993

Table 1. Database.

2.2 Machine Learning process

Initially, the analysis algorithm reads a base file, through the Pandas library (pd), with the case study database, that is, the table with the variables inherent to the slope conditions and their respective minimum safety factor. Therefore, through the use of the Seaborn (sns)

and Matplotlib.pyplot (plt) libraries, heat and correlation graphs can be plotted between all the variables in the database, in order to get an idea of which variables have the highest rate of interference in the safety factor.

The data to be analyzed by the Machine Learning model must be randomly subdivided into training and test data, since, for the most part, artificial intelligences need to be trained or go through a simulation state to effectively be tested and verified with the other data. Therefore, in the vast majority of cases, the Sklearn library is used, as it is one of the most important Artificial Intelligence libraries in Python. The data splitting process is done with the aid of *sklearn.model_model* and *its train_test_split* function, which splits the database into input data to simulate predictability (usually called x) and result data that is expected to be achieved (usually called y), in this case study being the slope safety factor.

Resolutely, it is preferred that the training data be between 20 and 35% of the general data, both for x and for y. This functionality is determined by *train_test_split* through *test_size* and additionally randomly selected through *random_state*. Thus, in this work, the value of 35% was adopted for such division.

The training must be simulated using regressions, which in this study will use the linear regression imported into the code by the LinearRegression resource from the *sklearn.linear_model* library and the decision tree method imported into the code by the RandomForestRegressor resource from the Sklearn.ensemble library. The f*it* function fits the data for training in the Machine Learn methodology in this set of libraries, while the *predict* function performs the predictions with the test data of the set x.

Finally, to evaluate the functionality of the predictability, the *metrics.r2_score* function of the Sklearn library will be used to calculate the R^2 between the test set y and the regressions used separately. Figure 2 shows a schematic flowchart of the algorithm calculation process.

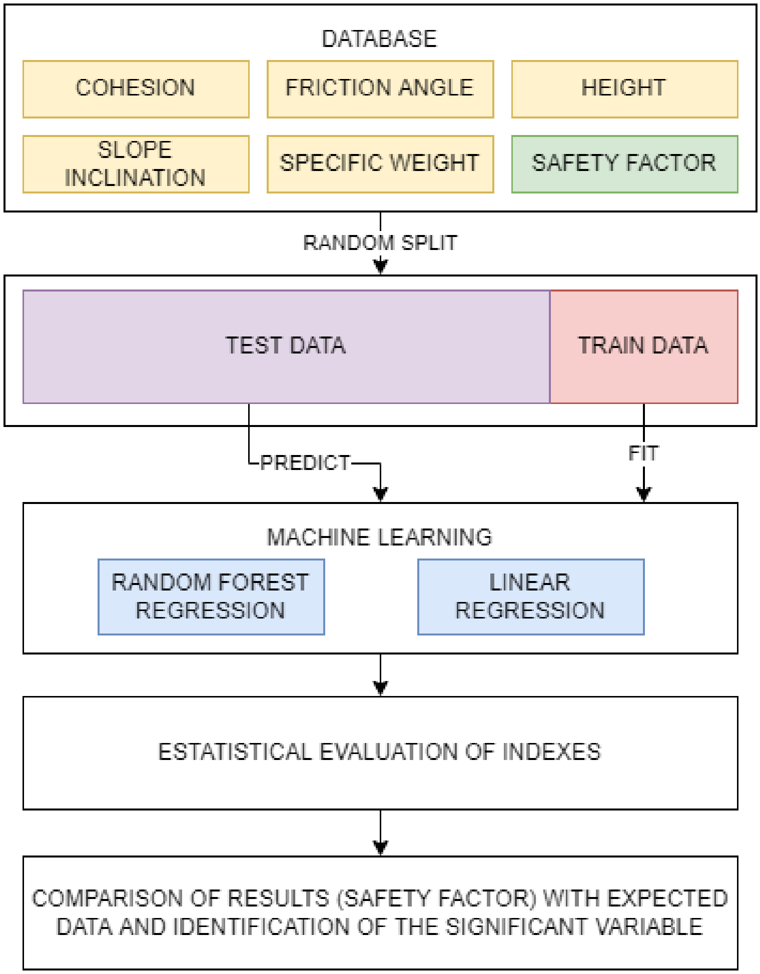


Figure 2. Statistical code analysis procedure.

2.2.1 Linear Regression

The Linear Regression model, according to Bui (2019), tries to correlate a linearized dependence tendency between a predicted variable and a specific parameter among the information in the database, thus being normally presented by Equation 1:

$$y = \alpha + \beta x + k \quad (1)$$

Wherein y is an independent variable and x is a dependent variable, α and β being structural parameters of linearization. The parameter k is relatively described as being a source of random error; however, in order to improve predictability, the analyzes are always associated with a normal distribution of error (Seber, 2012).

2.2.2 Random Forest Regression

The Random Forest Regression model proposed by Breiman (2001), as it is a supervised learning algorithm, has both decision-making features and regressive statistical methods. Suggestively by its name, the method executes by elaborating a combination tree of other decision trees mostly trained by the bagging method.

Additionally, the proposed method is effective in terms of defining the importance of the database parameter for the predictability of the data under study. Therefore, this is possible due to the fact that the classifier is composed of generated trees and the new dataset is discriminated by the classifier. So, the classification result is dependent on the number of votes per classification tree.

3 | RESULTS

After all the data processing in the database, a predictability analysis graph can be plotted between the synthetic data, that is, the test data and the related data already predicted. This graph can be seen in Figure 3.

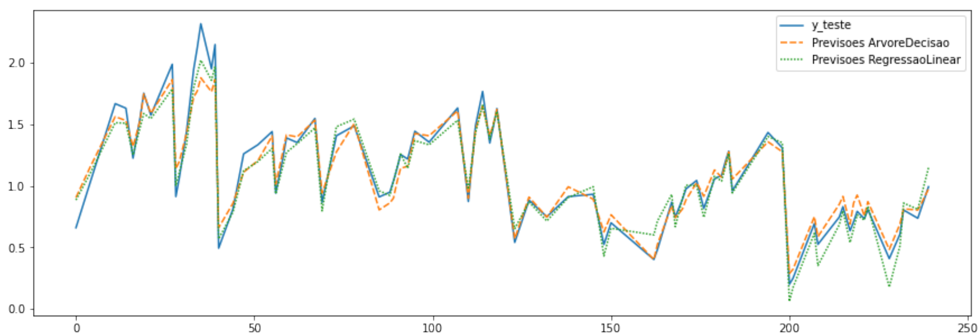


Figure 3. Comparison between test data and predictions by the models.

In observance, the models fit the problem very well. Additionally, the linear regression model tends to have more conservative values compared to the test data, while the predictions referring to the random forest regression model tend to have a slightly higher standard deviation. In statistical terms, the R^2 factor calculated for the models are 0.95 and 0.94 for linear regression and random forest regression, respectively, confirming what was observed in the graph.

As far as predictability is concerned, the random tree regression model manages to describe the importance for such a process, as it is a decisive classification model as commented. However, it is significant to remark that the degree of parameter importance does not correspond to the theoretical calculation model to determine the respective safety indexes, but to the forecasting process. Thus, Figure 4 shows the percentage of the degree of impact on predictability.

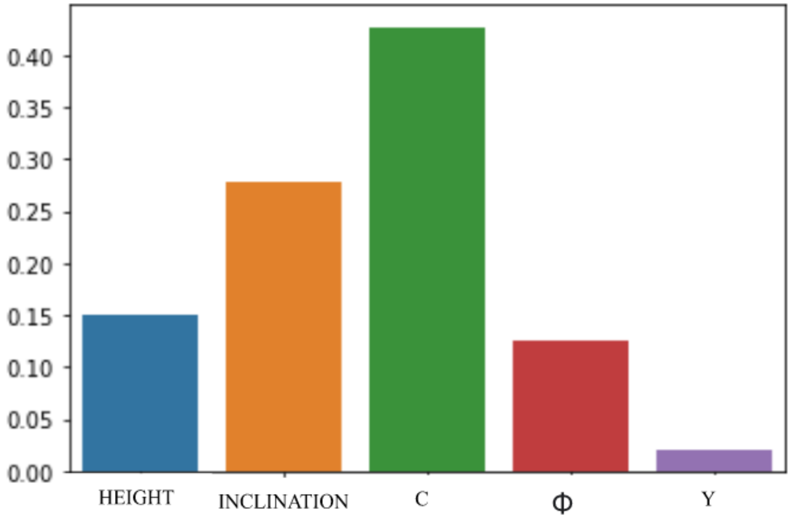


Figure 4. Importance of each parameter in the random forest model.

In a way, analyzing the parameters of cohesion and friction angle, intrinsic to the soil, for the predicted data, it can be inferred that the prediction models provide what is elucidated in the Mohr-Coulomb analysis theory. This fact can be seen in Figure 5, while the values increase the corresponding shear index, indirectly represented by the safety factor, representatively also increases. In this way, the reliability of being able to make pre-dimensions from predicted data is relevant for an initial decision making. Figure 6, in turn, shows that the slope height parameters and its respective slope, belonging to the slope geometry and conformation, are inversely proportional to its stability condition.

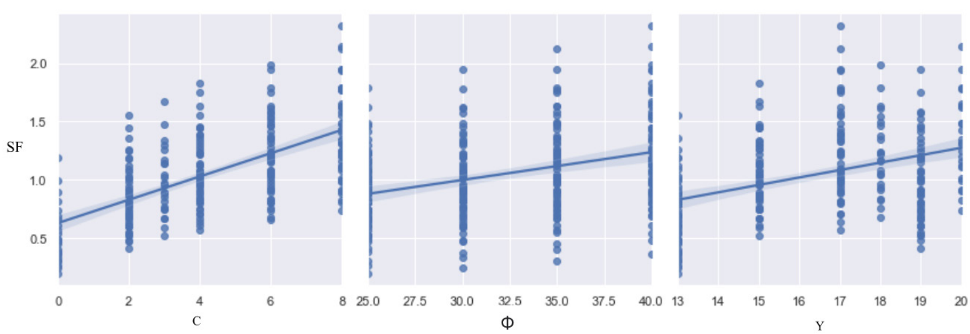


Figure 5. Relationship between stability and soil parameters.

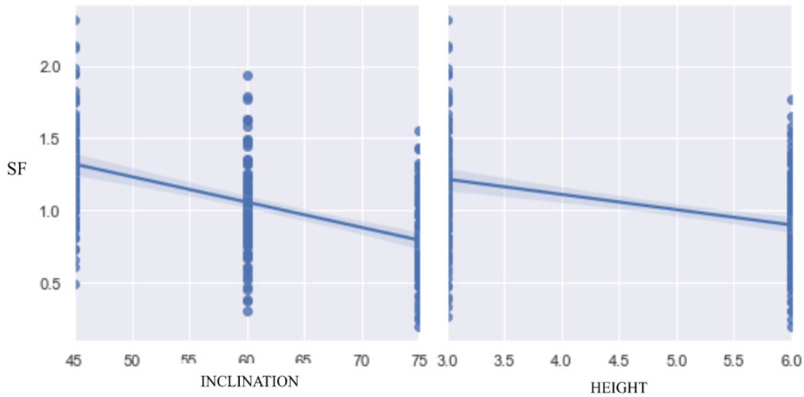


Figure 6. Relationship between stability and slope geometry.

Analyzing the database in terms of qualitative classification, in Figure 7 it can be seen that more data from unstable situations were simulated, this is due to the fact that the prediction was made for data with notable angulations and heights resulting in a reduction of the stability condition. As a result, the data training process prioritizes a reduction in most predictions. This can be noticed in some parts of the graph in Figure 3, to which most of the data are more conservative.

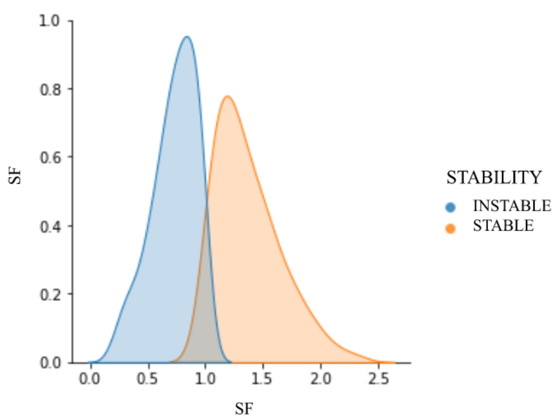


Figure 7. Data distribution diagram regarding classification.

4 I CONCLUSION

Studies such as this one are fundamental for the development of technologies for decision making or projects involving the scope of slope stability. As seen, the use of computational tools implemented with Artificial Intelligence are widely applicable and of considerable reliability; therefore, optimizing data processing and enabling greater interactivity between the real and predicted in order to solve problems like this.

Taking into account the statistical data, the models are effective and can be adapted to any database. Remembering that the choice of the model must be very well grounded in order to have a fit that best represents the real phenomena.

It is recommended for future work to analyze the predictability for other calculation models and observe the interactivity between them, apply the methodologies to a real data base or verify other slope conformation conditions.

REFERENCES

Bui, D. T.; Moayedi, H.; Gör, M.; Jaafari, A.; Foong, L. K. (2019) Predicting Slope Stability Failure through Machine Learning Paradigms. ***International Journal of Geo-Information***.

Breiman, L. (2001) Random forests. ***Machine Learning***, v. 45, n. 1, p. 5-32.

Carvalho, P. A. S. (1991) ***Manual de geotecnia: taludes de rodovia: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas***. São Paulo: IPT.

Lin, Y.; Zhou, K.; Li, J. (2018) Prediction of Slope Stability Using Four Supervised Learning Methods. ***IEEE Access***, v. 6, p. 31169-31179.

Seber, G. A.; Lee, A. J. (2012) **Linear Regression Analysis**. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, v. 329.

Silva, E. L.; Gomes, R. A.; Guimarães, R. F.; Carvalho Júnior, O. A. (2013) Emprego de modelo de suscetibilidade a escorregamentos rasos para gestão de risco de desastres no município de Vitória-ES. ***Sociedade & Natureza***, v. 25, p. 119-132.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (DEM) SOB DIFERENTES MÉTODOS DE COLETA DE DADOS APLICADOS A ENGENHARIA CIVIL

Data de aceite: 03/07/2023

Carlos Eduardo Zacarkim
Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Tecnologia Ambiental, Laboratório de Engenharia e Tecnologia em Aquicultura – LETA
Palotina, PR, Brasi

Alexandre Leseur dos Santos
Universidade Federal do Paraná – Palotina, PR, Brasil

Rafael Hoffmann
Universidade Federal do Paraná – Palotina, PR, Brasil

ABSTRACT: Digital Elevation Models (DEMs) are the data structures commonly adopted to store topographical information and are often interpolated to establish values for entire terrain points. From the models it is possible to calculate volumes, areas, draw profiles and cross-sections, generate shaded or gray-level images, generate slope and exposure maps, generate slices at desired intervals and three-dimensional perspectives. The present work carried out a comparative test between different methodologies for obtaining data from Digital Elevation Models (DEM), considering that the method of capturing the information collected in the field can influence the efficiency of the generated elevation model and, consequently, the execution of projects related to civil engineering. The results corroborate the hypothesis that few points mask the real topography of the place, resulting in problems in the expected earth movement and location of work in engineering projects.

KEYWORDS: Land representation, Level curves, Earthworks.

1 I INTRODUÇÃO

O uso dessas ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (GIS), facilita um processo de tomada de decisão mais eficiente devido às suas capacidades de análise espacial. A utilidade do processo decisório, em termos operacionais, será significativamente melhorada quando considerados a qualidade dos modelos de superfície gerados.

Os pacotes de software GIS oferecem vários métodos para criar modelos de superfície confiáveis, que

uma vez coletados os pontos de amostragem por diferentes técnicas e métodos de interpolação, se pode criar uma estrutura de dados para toda a área de interesse. Neste aspecto, a interpolação é uma operação crucial em SIG, que pode influenciar no processo de visualização e melhor compreensão do conjunto de dados para projetos em diferentes áreas da engenharia civil (Ajvaz & Czimber, 2019).

Segundo Arun (2013), a visualização de entidades geoespaciais geralmente envolve Modelos Digitais de Elevação (DEMs), que são interpolados para estabelecer coordenadas tridimensionais para todo o terreno avaliado. A precisão do modelo de terreno gerado depende do mecanismo de interpolação adotado e, sendo, portanto, necessário a investigação do desempenho comparativo de diferentes abordagens neste contexto.

Em alguns casos, a qualidade de um método de interpolação pode variar em relação ao tamanho da amostra de dados e tipos de relevo encontrado. Dentre as definições da representação tridimensional de uma área da superfície terrestre, existem algumas nomenclaturas mais usuais que são utilizadas com a finalidade de discriminar as informações contidas na superfície. Dentre elas: Modelo Digital do Terreno (MDT), Modelo Numérico do Terreno (MNT), Modelo Digital de Elevação (MDE) e o Modelo Digital de Superfície (MDS) (Grohmann et al., 2008; Camana, 2016).

Os Modelos Digitais de Elevação (DEMs) são as estruturas de dados geralmente adotadas para armazenar informações topográficas e geralmente são interpolados para estabelecer os valores para pontos inteiros do terreno. Desta forma, o DEM é uma representação de células quadradas (pixels) com um valor de elevação associado a cada pixel (Arum, 2013). Os DEMs podem ser obtidos a partir de curvas de nível, mapas topográficos, levantamentos de campo, técnicas de fotogrametria, interferometria de radar e altimetria a laser (Desmet, 1997; Manuel, 2004).

As técnicas de interpolação baseiam-se nos princípios da autocorrelação espacial, que pressupõe que os pontos mais próximos são mais semelhantes em relação aos pontos mais distantes. Os métodos de interpolação utilizados são geralmente classificados em abordagens locais e globais. Os métodos locais preveem o valor de um ponto desconhecido com base nos valores dos pixels da vizinhança, considerando as técnicas da Ponderação de Distância Inversa (IDW), Polinômio Local, Vizinho Mais Próximo (NN) e Funções de Base Radial (RBFs). Métodos de interpolação global usam todos os pontos de amostra disponíveis para gerar previsões para um ponto específico, como funções de interpolação polinomial (Burrough e McDonnell, 1998; Arun, 2013).

Obtidos os Modelos Digitais de Elevação é possível calcular volumes, áreas, desenhar perfis e seções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e exposição, gerar fatiamentos em intervalos desejados e perspectivas tridimensionais (INPE, 2016). Esses produtos podem ainda, serem integrados com outros tipos de dados geográficos a fim de obter outras aplicações em geoprocessamento como planejamento urbano e rural, análises de aptidão agrícola, determinação de áreas de

riscos e geração de relatórios de impacto ambiental, fundamentais em obras de Engenharia (Felgueiras & Câmara, 2016).

Desta forma, o presente trabalho testou diferentes metodologias de obtenção de dados de Modelos Digitais de Elevação (DEM), sob a hipótese de que o modelo de captura das informações levantadas a campo pode influenciar na execução de empreendimentos da engenharia civil.

2 I METODOLOGIA

O presente trabalho realizou um teste comparativo entre metodologias de obtenção de dados de Modelos Digitais de Elevação (DEM), através do software de automação topográfica Posição, sendo testadas técnicas gerais de interpolação vizinho mais próximo e spline. As técnicas de confecção do modelo de elevação foram comparadas com a captura das informações em campo com relevo, número de pontos obtidos, sistematização das coletas de pontos e sua possível influência na execução de obras de engenharia civil (Desmet, 1997; Pearson et al., 2017; Crema, et al., 2020).

Foram realizados levantamentos de campo, comparando dois modelos de obtenção de dados para gerar DEM de referência, através de um conjunto específico de pontos teste para avaliação comparativa sendo: uma base fixa, com pontos previamente fixados e outra base de pontos aleatórios, adaptados conforme metodologia proposta por Crema et al., (2020). Os modelos foram testados em relação ao nível de representação, influência do número de pontos amostrais e sua aplicabilidade na implantação de projetos.

O experimento foi realizado em um terreno de propriedade privada, localizado em Palotina-PR, com relevo levemente irregular, delimitado por um perímetro de 180 metros, sendo 60m X 30m, com uma área de 1.800m^2.

As coletas de dados, foram realizadas da seguinte forma:

1. Coleta de dados por Pontos Fixos, conforme a metodologia adaptada de Crema et al., (2020). Sendo amostrados 15, 30 e 45 pontos de coleta, com distancias equidistantes entre si, de modo a criar um grade uniforme de pontos, conforme Figura 1.

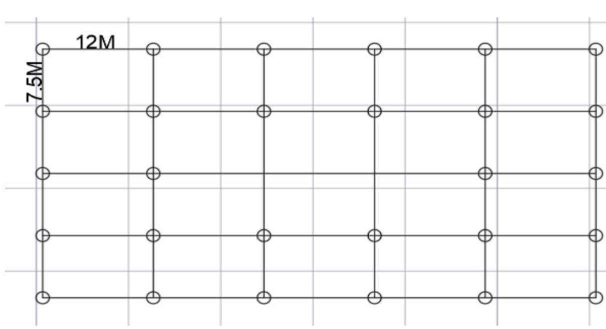


Figura 1 - Proposta de grade de pontos gerados, com distâncias equidistantes.

2. Coleta de dados por Pontos Aleatórios, conforme a metodologia adaptada de Crema et al., (2020). Sendo amostrados 15, 30 e 45 pontos de coleta, com distancias variadas e aleatórias, de modo a criar um grade aleatório de pontos obtidos por observação do terreno, considerando as variações do relevo, acidentes encontrados (buracos, aterros, depressões etc), obstáculos e tipo de superfície.

A coleta de dados ocorreu por meio de estação total Leica TS06, Plus R500. Os Modelos de Elevação gerados para os diferentes métodos de coletas analisados, foram realizados pelo software de Sistema de Automação Topográfica Posição V3.

Para avaliação dos modelos criados, foi simulado a confecção de um platô para implantação de um edifício ao centro do terreno, de dimensões de 20mx15m, sendo avaliado para os diferentes métodos de coleta de dados, o volume de terra, custos para implantação da obra, erros na demarcação da obra pelas diferentes técnicas.

Para avaliação dos métodos de captura de dados para confecção dos DEM (aleatório e pontos fixo), em função do número de pontos para cada método e o erro encontrado por eles na aplicação no platô, os resultados foram submetidos a análise estatística por relação linear simples, pelo coeficiente de correlação de Pearson, sendo aplicados o teste de médias pela análise de variância pelo método dos mínimos quadrados, seguido do teste de Tukey a posteriori.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresentada os resultados da simulação dos modelos digitais de elevação para 15, 30 e 45 pontos, obtidos pela forma fixa e aleatória.

Pontos	Cota do terreno obtida pelo DEM	Cota proposta para no projeto	Resultado teórico de aterro	Resultado de aterro obtido	Erro obtido
MODELO 15 PONTOS ALEATORIOS					
P1	29,959	31	1,041	1,093	0,052
P2	30,124	31	0,876	0,938	0,062
P3	29,871	31	1,129	1,777	0,648
P4	29,559	31	1,441	1,579	0,138
MODELO 15 PONTOS FIXOS					
P1	29,654	31	1,346	1,082	-0,264
P2	29,987	31	1,013	1,068	0,055
P3	29,934	31	1,066	1,171	0,105
P4	29,667	31	1,333	1,579	0,246

MODELO 30 PONTOS ALEATORIOS					
P1	29,957	31	1,043	1,066	0,023
P2	30,003	31	0,997	1,057	0,06
P3	29,867	31	1,133	1,153	0,02
P4	29,521	31	1,479	1,564	0,085
MODELO 30 PONTOS FIXOS					
P1	29,814	31	1,186	1,064	-0,122
P2	29,954	31	1,046	1,057	0,011
P3	29,921	31	1,079	1,168	0,089
P4	29,452	31	1,548	1,559	0,011
MODELO 45 PONTOS ALEATORIOS					
P1	29,873	31	1,127	1,066	-0,061
P2	29,984	31	1,016	1,05	0,034
P3	29,914	31	1,086	1,159	0,073
P4	29,424	31	1,576	1,561	-0,015
MODELO 45 PONTOS FIXOS					
P1	29,964	31	1,036	1,067	0,031
P2	29,962	31	1,038	1,063	0,025
P3	30,024	31	0,976	1,155	0,179
P4	29,526	31	1,474	1,563	0,089

Tabela 1 – Apresenta os resultados entre cotas para as representações de modelagem para 15, 30 e 45 pontos obtidos de forma aleatório e fixa.

A Tabela 1, está representada a implantação de um talude de 4 pontos, considerando a locação das estacas P1 a P4, com a simulação do perfil do terreno obtido por cada DEM gerado e o resultado da implantação real com o erro obtido por estaca. Conforme demonstrado na Tabela 1, o modelo adotado de 15 pontos aleatórios foi o que apresentou o maior erro de implantação na ocasião da locação do aterro proposto, onde a estaca do P3 apresentou erro de 0,648m em relação a cota prevista pelo modelo adotado. O modelo que apresentou melhor desempenho com relação a implantação, foi o de 45 pontos obtidos de forma aleatória, com diferenças na locação das estacas de 1 a 4 cm. De acordo com Crema et al., (2020), a qualidade do Modelo Digital de Elevação (DEM) depende dos dados de origem ou das técnicas utilizadas para obtê-los.

A Tabela 2 apresentada os resultados em relação a estimativa do volume de terra a

ser movimentado, área de influência e erro obtido considerando o modelo utilizado como base para implantação da terraplanagem do platô proposto utilizado para edificações civis.

FORMA DE OBTENÇÃO DO DEM	VOLUME ATERRO (m^3)	DIF. ENTRE VOLUMES (m^3)	ÁREA (m^2)	DIF. ENTRE ÁREAS (m^2)
15 PONTOS ALETÓRIOS	785,238	0,000	820,700	1,360
15 PONTOS FIXOS	753,639	31,599	816,870	5,190
30 PONTOS ALETÓRIOS	778,299	6,939	815,000	7,060
30 PONTOS FIXOS	775,930	9,308	822,060	0,000
45 PONTOS ALETÓRIOS	741,358	43,880	816,880	5,180
45 PONTOS FIXOS	756,141	29,097	817,060	5,000

Tabela 2 – Apresenta os resultados de volume e área entre as representações de modelagem para 15, 30 e 45 pontos obtidos de forma aleatório e fixa.

Com base nos Modelos Digitais de Elevação foi possível calcular volumes, áreas, desenhar perfis e seções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e exposição, gerar fatiamentos em intervalos desejados e perspectivas tridimensionais (INPE, 2016). Analisando o volume de terra a ser movimentado utilizado-se como base os DEMs gerados, o modelo que melhor representou foi de 45 pontos obtidos de forma aleatória, sendo a maior variação da simulação de movimentação de terraplanagem foi obtida pelo modelo de 15 pontos aleatórios, com erro de 43,88m^3 entre eles.

A análise estatística dos dados apontou diferença significativa entre o número de pontos adotado e a obtenção de dados no método aleatório para formação do DEM (Tabela 3).

PARÂMETRO	ESTIMATIVA	ERRO PADRÃO	LIMITE DE 95% DE CONFIANÇA		*PR<CHISQ
Método Aleatório	0.2871	0.1306	0.0311	0.5431	0.0279
Método Fixo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.
Pontos	0.0014	0.0028	-0.0041	0.0070	0.6145
Pontos* Método Aleatório	-0.0079	0.0040	-0.0158	-0.0001	0.0485
Pontos* Método Fixo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	.
Escala	67.2645	19.3696	38.2535	118.2769	

*O parâmetro de escala foi estimado por máxima verossimilhança. Tukey ao nível de significância de 5%.

Tabela 3: Análise de estimativas de parâmetros pela máxima verossimilhança.

Na análise de covariância, demonstrou que a partir de 37 pontos o modelo que melhor se ajusta ao DEM é o Aleatório, sendo que para menos pontos o que menor se ajusta é o Fixo, que apresentou distribuição normal (Figura 2).

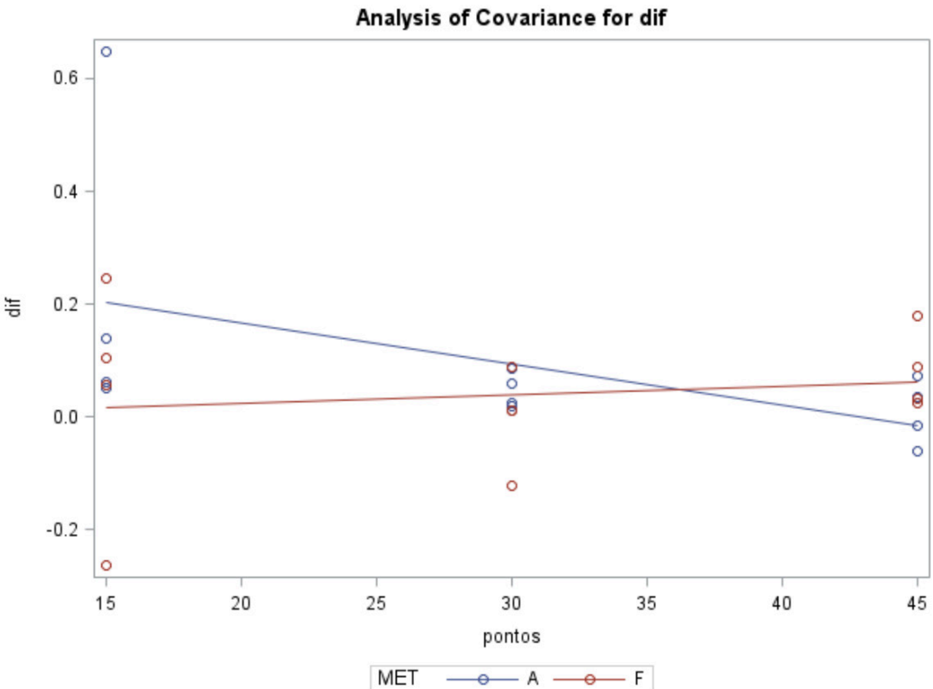


Figura 2 - Analise de covariância entre os métodos e o número de pontos para obtenção do DEM.

Os Modelos Digitais de Elevação (DEMs) são as estruturas de dados geralmente adotadas para armazenar informações topográficas e geralmente são interpolados para estabelecer os valores para pontos inteiros do terreno (Arum, 2013). A análise de covariância apresentou favorável ao número de pontos utilizados para obtenção do Modelo Digital de Elevação obtidos de forma fixa e com poucos pontos. Uma hipótese para isso, é que o DEM obtido com poucos pontos pode não ter pego as variações no terreno, de modo que o modelo ficou artificialmente satisfatório.

A Figura 3, ilustra a representação dos Modelos Digitais de Elevação através de curvas de nível geradas para 15 e 45 pontos obtidos de forma aleatória.

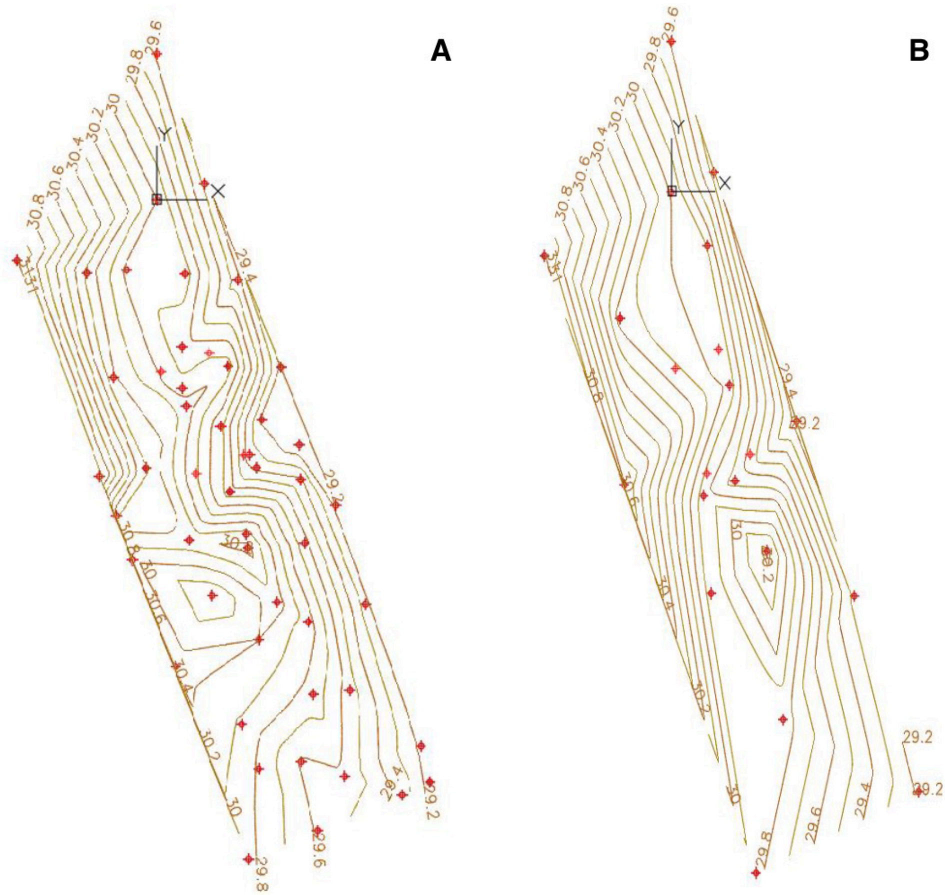


Figura 3 - Simulação dos DEM obtidos de forma aleatória para 15 e 45 pontos, representadas por curvas de nível. A – 45 Pontos, B – 15 Pontos.

O DEM é uma representação de células quadradas (pixels) com um valor de elevação associado a cada pixel (Arum, 2013). Os DEMs podem ser obtidos a partir de curvas de nível, mapas topográficos, levantamentos de campo, técnicas de fotogrametria, interferometria de radar e altimetria a laser (Desmet, 1997; Manuel, 2004). A diferença na representação do DEM pelas curvas de níveis obtidas para uma mesma área, mas obtidos de formas diferentes visível. O resultado, corrobora com a hipótese de que, poucos pontos mascaram a real topografia do lugar, resultando em problemas na movimentação de terra prevista e locação de obra em projetos de engenharia.

4 I CONCLUSÃO

A análise do número de pontos utilizados para obtenção do Modelo Digital de Elevação e a forma de obtenção não apresentaram diferença estatística significativa.

Entretanto, o número de pontos utilizados para obtenção do DEM de forma fixa e aleatória foi relevante, onde a partir de 37 pontos o modelo que melhor se ajusta é o modelo Aleatório. Contudo, o DEM obtido com poucos pontos pode não ter pego as variações no terreno, de modo que o modelo ficou artificialmente satisfatório também representado na visualização das curvas de nível.

Sugestão para novos trabalhos é que se repita os testes com um maior número de pontos para verificar a real eficácia entre os modelos e que possa possibilitar fazer uma correlação entre o número de pontos e o perfil do terreno.

REFERÊNCIAS

Ajvazi, B., & Czimber, K. (2019). A comparative analysis of different DEM interpolation methods in GIS: case study of Rahovec, Kosovo. *Geodesy and Cartography*, *45*(1), 43-48. https://doi.org/10.3846/gac.2019.7921

Arun, P. V. (2013). A comparative analysis of different DEM interpolation methods. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 16, 133-139. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2013.09.001

Burrough, P.A., McDonnell, R.A., 1998. Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, New York, pp. 333–335.

Camana, Jheini Cristina. Modelos Digitais de Elevação: Aplicação em Bacias Hidrográficas. 2016. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

Crema, S., Llena, M., Calsamiglia, A., Estrany, J., Marchi, L., Vericat, D., & Cavalli, M. (2020). Can inpainting improve digital terrain analysis? comparing techniques for void filling, surface reconstruction and geomorphometric analyses. Earth Surface Processes and Landforms, doi:10.1002/esp.4739

Davidović, M., Petrović, V. M., & Borisov, M. (2016). Analysis of the Display of Digital Terrain Models using different interpolation methods. *Geodetski list*, *70*(3), 267-282

Desmet, P.J.J. (1997). Effects of interpolation errors on the analysis of DEMs. Earth Surface Processes and Landforms , Issue 6, Pages 563-580 10.1002/(SICI)1096-9837(199706)22:6<563::AID-ESP713>3.0.CO;2-3

Felgueiras, Carlos A.; CÂMARA, Gilberto. Modelagem Numérica de Terreno. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf >. Acesso em fev. de 2016.

Grohmann, Carlos H.; RICCOMINI, Claudio. STEINER, Samar S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em Geomorfologia. Revista Geografia Acadêmica, v.2, n.2, p.73-83. 2008.

Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE). Declividade. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/declividade_gradiente.php>. Acesso em maio de 2016.

Manuel P. (2004). Influence of DEM interpolation methods in drainage analysis, GIS Hydro 04, Texas, USA.

Pearson E.; Smith M.W.; Klaar M.J.; Brown L.E. (2017). Can high resolution 3D topographic surveys provide reliable grain size estimates in gravel bed rivers? Geomorphology, Volume 293, Part A, , Pages 143-155, doi: 10.1016/j.geomorph.2017.05.015

MARIANA NATALE FIORELLI FABICHE - Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Paranaense (2009-2013), com especialização em Gestão de Projetos e Obras de Edificações pela Universidade Estadual de Maringá (2014-2016). Obteve seu Mestrado em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá (2014-2016) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina (2018-2023). Atuou como Professora horista na Universidade Paranaense nas áreas de Engenharia Civil e Arquitetura entre os anos de 2017-2022, bem como contribuía e participava do quadro do colegiado do curso. Atualmente (2021- Atual) é professora do Departamento de Tecnologia (DTC) nos cursos de Engenharia Civil e Tecnologia da Construção civil da Universidade Estadual de Maringá Campus de Umuarama, lecionando disciplinas de Conforto térmico, Hidrologia, Hidráulica I, Laboratório de Hidráulica, Materiais de Construção, Gerenciamento de Obras. Participa efetivamente em orientações de TFC bem como em orientações de estágio supervisionado e obrigatório.



INNOVATE:

ENGENHARIA CIVIL

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

@atenaeditora

www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora

Ano 2023

INNOVATE:

ENGENHARIA CIVIL

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena
Editora
Ano 2023